



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
CAMPUS IV



**CRECIMIENTO DE *Brachiaria decumbens* Stapf. BIOFERTILIZADO
CON *Rhizophagus intraradices* Schenk et Smith Y *Azospirillum
brasiliense* Tarrand, Krieg et Döbereiner EN INVERNADERO**

TESIS

**Que para obtener el grado de MAESTRO EN
CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL**

Presenta

CESAR ANTONIO AU CÁRDENAS 12042001

Director de Tesis

DR. JUAN FRANCISCO AGUIRRE MEDINA

Huehuetán, Chiapas, México, Mayo 2024



Huehuetán Chiapas a 29 de abril del 2024

C. ING. CESAR ANTONIO AU CARDENAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
CAMPUS IV
PRESENTE

Me es grato informarle que tengo a bien autorizar la Impresión de sus Tesis
"CRECIMIENTO DE *Brachiaria decumbens* Stapf. BIOFERTILIZADO CON *Rhizophagus*
intraradices Schenk et Smith Y *Azospirillum brasilense* Tarrand, Krieg et Döbereiner
EN INVERNADERO " misma fue registrada ante el Comité de Investigación y Posgrado
de la Facultad de Ciencias Agrícolas, como parte de los requisitos para obtener el
Grado de Maestría en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical (MCPAT) y que
ha sido ampliamente revisada por el Comité Tutorial y Revisor.

Sin otro particular, les saludo

ATENTAMENTE



Dra. Mayra Martínez Solís
Directora de la Facultad de Ciencias Agrícolas-
Campus IV, Huehuetán, Chiapas

C.c.p. Ing. Coordinación de Investigación y Postgrado. Edificio.
C.c.p. Expediente
C.c.p. Minutario





Código: FO-113-05-05
Revisión: 0

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.

El (la) suscrito (a) César Antonio Au Cárdenas
Autor (a) de la tesis bajo el título de "CRECIMIENTO DE *Brachiaria decumbens* Stapf. BIOFERTILIZADO CON *Rhizophagus intraradices* Schenk et Smith Y *Azospirillum brasilense* Tarrand, Krieg et Döbereiner EN INVERNADERO,"
presentada y aprobada en el año 2024 como requisito para obtener el título o grado de MAESTRÍA autorizo, licencia a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), para que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para su consulta, reproducción parcial y/o total, citando la fuente, que contribuya a la divulgación del conocimiento humanístico, científico, tecnológico y de innovación que se produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que si se encuentran registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 30 días del mes de abril del año 2024.


César Antonio Au Cárdenas

Nombre y firma del Tesista o Tesistas



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
CAMPUS IV



Esta tesis titulada: "CRECIMIENTO DE *Brachiaria decumbens* Stapf. BIOFERTILIZADO CON *Rhizophagus intraradices* Schenk et Smith Y *Azospirillum brasilense* Tarrand, Krieg et Döbereiner EN INVERNADERO" fue realizada por el ING. CESAR ANTONIO AU CARDENAS, bajo la dirección y asesoría del Comité Tutorial indicado, como requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL.

COMITÉ TUTORIAL

DIRECTOR

DR. JUAN FRANCISCO AGUIRRE MEDINA

DR. JOSE CARLOS ESCOBAR ESPAÑA

DR. JUAN FRANCISCO AGUIRRE CADENA

DRA. MAYRA MARTINEZ SOLIS

Huehuetán, Chiapas, México, Mayo de 2024



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
CAMPUS IV



Esta tesis titulada: "CRECIMIENTO DE *Brachiaria decumbens* Stapf. BIOFERTILIZADO CON *Rhizophagus intraradices* Schenk et Smith Y *Azospirillum brasilense* Tarrand, Krieg et Döbereiner EN INVERNADERO". La cual fue realizada por el ING. CESAR ANTONIO AU CARDENAS, ha sido aprobada por la Comisión Revisora indicada, como requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL.

COMISIÓN REVISORA

DR. JUAN FRANCISCO AGUIRRE MEDINA

DR. JOSE CARLOS ESCOBAR ESPAÑA

DR. JUAN FRANCISCO AGUIRRE CADENA

DRA. MAYRA MARTINEZ SOLIS

DR. HUMBERTO ESQUINCA RUIZ

Huehuetán, Chiapas, México; mayo de 2024

DEDICATORIA

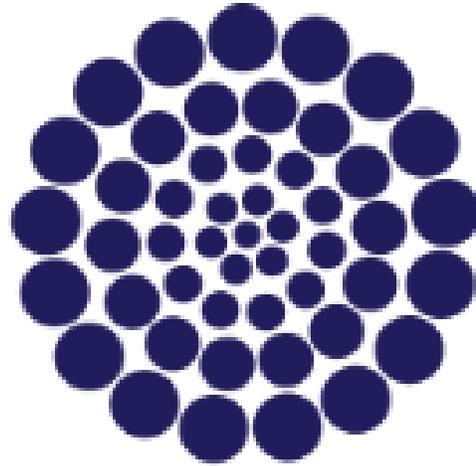
A mi amada madre, fuente de inspiración, de apoyo infinito y amor incondicional, cuya sabiduría y aliento han sido la guía en mi vida.

A mi valeroso padre, que se sienta orgulloso desde la eternidad, cuyo ejemplo de tenacidad y chispa de alegría guían mi camino.

A mi super hermano, compañero de aventuras y cómplice en cada desafío, por su ánimo y apoyo constante me dan la seguridad que cuento con él a mi lado hombro a hombro.

A mi querida esposa, mi compañera de vida, por su amor y paciencia infinitos, me motiva a seguir adelante.

Este trabajo está dedicado a ustedes, mis pilares de oro y plata.



CONACYT

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

Esta tesis titulada **"CRECIMIENTO DE *Brachiaria decumbens* Stapf. BIOFERTILIZADO CON *Rhizophagus intraradices* Schenk et Smith Y *Azospirillum brasilense* Tarrand, Krieg et Döbereiner EN INVERNADERO"** fue realizada por el **ING. CESAR ANTONIO AU CARDENAS** bajo el apoyo y financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, como requisito parcial para obtener el grado de **MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL.**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
CAMPUS-IV



Esta tesis fue dirigida por el **DR. JUAN FRANCISCO AGUIRRE MEDINA**, docente de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Chiapas, en el marco del proyecto de investigación titulado Esta tesis titulada "**CRECIMIENTO DE *Brachiaria decumbens* Stapf. BIOFERTILIZADO CON *Rhizophagus intraradices* Schenk et Smith Y *Azospirillum brasilense* Tarrand, Krieg et Döbereiner EN INVERNADERO"**

Se incluye en la **LÍNEA DE GENERACIÓN Y APLICACIÓN DEL CONOCIMIENTO:** Manejo Agroecológico de Cultivos del Programa de Maestría en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical.

INDICE GENERAL

RESUMEN	12
ABSTRACT	13
1. INTRODUCCIÓN	14
2. OBJETIVOS E HIPOTESIS	18
2.1. Objetivo general.....	18
2.2. Objetivos específicos.....	18
2.3. Hipótesis	18
3. MARCO TEORICO	19
3.1. Interacción planta-microorganismo	19
3.2. Fijación biológica de nutrientes.....	20
3.3. Biofertilización.....	21
3.4. Simbiosis micorrizica (<i>Brachiaria-Rhizophagus-Azospirillum</i>)	22
3.5. <i>Brachiaria decumbens</i> Stapf.....	23
3.6. <i>Rhizophagus intraradices</i>	24
3.7. <i>Azospirillum brasilense</i> Tarrand, Krieg et Döbereiner.....	24
3.8. Componentes del Rendimiento.....	25
4. MATERIALES Y METODOS	29
4.1. Localización geográfica	29
4.2. Clima.....	29
4.3. Características del sitio experimental	29
4.4. Tratamientos.....	30
4.5. Análisis Estadístico.....	32
4.6. Número de hojas.....	34
4.7. Asignación de materia seca por componente del rendimiento.....	36
4.8. Asignación de biomasa.....	41
4.9. Relación hoja/tallo.....	46
4.10. Relación raíz/vástago	47
4.11. Tasa Relativa de crecimiento.....	50
4.12. Contenido de Nitrógeno y Fósforo en Tejido Vegetal.	54
5. CONCLUSIONES	60
6. REFERENCIAS	61

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1	25
----------------	----

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	21
Figura 2	30
Figura 3	33
Figura 4	35
Figura 5	38
Figura 6	41
Figura 7	45

RESUMEN

El estudio aborda la influencia de la biofertilización con *Rhizophagus intraradices* y *Azospirillum brasilense* en la asignación de materia seca de *Brachiaria decumbens* Stapf., en interacción con fertilización química enfocado en el crecimiento de vástago y raíz. Con estos antecedentes se estableció la investigación en invernadero con suelo fluvisol eutrico de Huehutan, Chiapas, México, y clima Aw₂ (w'') ig. Se establecieron seis tratamientos: Testigo, *Azospirillum brasilense*, *R. intraradices*, *Azospirillum* + *Rhizophagus*, *Azospirillum* + *Rhizophagus* + 100-50-00 y la dosis 100-50-00 en macetas de 2 kg de capacidad. Las mismas fueron distribuidas en bancales en un diseño completamente al azar con cinco repeticiones. Se realizaron muestreos destructivos cada 28 días para determinar asignación de materia seca por estructuras del pasto. Se registraron variables morfológicas y fisiológicas del rendimiento y se analizaron estadísticamente por el mismo método mediante la ayuda de la versión 8.0 de SAS para Windows y las gráficas con el Sigma Plot ver. 11.0 para Windows. Los resultados indican respuesta diferencial entre tratamientos a los diferentes componentes del rendimiento. La mayor asignación de materia seca a raíz se logró con la simbiosis doble más la dosis de fertilidad y con los microorganismos solos, se logró con la biofertilización de *A. brasilense*. Es importante destacar que el efecto de los microorganismos en la inducción de la materia seca del pasto chontalpo es casi semejante a la inducida por la dosis alta de fertilidad evaluada. Con estos resultados se concluye que la asignación de materia seca del pasto chontalpo presenta un comportamiento diferencial a los microorganismos y la mejor respuesta se logra cuando se combinan los dos al momento de la siembra. Se sucede un efecto sinérgico al combinar la simbiosis doble con la dosis de fertilidad química.

PALABRAS CLAVE: biofertilizante, asignación de materia seca, crecimiento, componentes del rendimiento

ABSTRACT

The study addresses the influence of biofertilization with *Rhizophagus intraradices* and *Azospirillum brasilense* on the dry matter allocation of *Brachiaria decumbens* Stapf., in interaction with chemical fertilization focused on shoot and root growth. With this background, greenhouse research was established with eutric fluvisol soil from Huehutan, Chiapas, Mexico, and climate Aw2 (w") ig. Six treatments were established: Control, *A. brasilense*, *R. intraradices*, *Azospirillum* + *Rhizophagus*, *Azospirillum* + *Rhizophagus* + 100-50-00 and the dose 100-50-00 in 2 kg capacity pots. They were distributed in beds in a completely randomized design with five repetitions. Destructive sampling was carried out every 28 days to determine dry matter allocation by pasture structures. Morphological and physiological variables of performance were recorded and statistically analyzed by the same method using SAS version 8.0 for Windows and graphs with Sigma Plot ver. 11.0 for Windows. The results indicate differential response between treatments to the different components of performance. The highest allocation of dry matter to roots was achieved with the double symbiosis plus the fertility dose and with the microorganisms alone, it was achieved with the biofertilization of *A. brasilense*. It is important to highlight that the effect of microorganisms on the induction of dry matter of chontalpo grass is almost similar to that induced by the high dose of fertility evaluated. With these results it is concluded that the allocation of dry matter of chontalpo grass presents a differential behavior to the microorganisms and the best response is achieved when the two are combined at the time of sowing. A synergistic effect occurs when combining double symbiosis with the dose of chemical fertility.

KEYWORDS: biofertilizer, dry matter allocation, growth, yield components

1. INTRODUCCIÓN

Las regiones tropicales de México abarcan el 25% del territorio nacional (De Alba, 1976) y son importantes fuentes de abastecimiento de productos básicos de origen animal a nuestra creciente población nacional.

La actividad ganadera en México produce 35.2 millones de cabezas de bovino y su valor asciende a 480 mil millones de pesos. Esta actividad participa con el 40% del valor de la producción del sector primario y ocupa el 11° lugar en producción mundial. El estado de Chiapas produce 106,051 millones de toneladas de carne bovina y ocupa el quinto lugar a nivel nacional entre las principales entidades de producción de acuerdo con el inventario 2020 (SIAP, 2020). La productividad anterior se basa casi exclusivamente en el pastoreo extensivo de diversas gramíneas forrajeras que han sido introducidas y adaptadas a esta región.

El pastoreo de las gramíneas enfrenta dificultades para abastecer de alimento a los bovinos durante seis meses en el año por la disminución de la precipitación de noviembre a mayo y la deficiencia de nitrógeno y fósforo en los suelos fluvisoles eutricos que dominan la planicie costera. Lo anterior induce la degradación de las praderas y la sostenibilidad del sistema de producción.

Como una vía para atender esta problemática, se propone estudiar la producción en este tipo de suelos con riesgo de degradación por manejo de praderas y la inoculación de pastura por falta de reposición de nutrimentos en el pastoreo.

En ese sentido, los microorganismos de la rizósfera han mantenido una relación estrecha con las plantas desde que estas últimas iniciaron la colonización de la tierra (Selosse y Le Tacon, 1998) y han mantenido el funcionamiento y la

estabilidad de los ecosistemas a través de la influencia en la composición de las especies en las comunidades vegetales (Read, 1998).

La flexibilidad ecológica de una planta es mayor cuando está asociada a los microorganismos del suelo. Una asociación simbiótica favorece la tolerancia de las plantas al estrés hídrico, a las heladas, a la excesiva acidez o alcalinidad por un incremento en la disponibilidad de nutrientes y agua o por protección en contra de patógenos radicales (Dommergues, 1978).

En este contexto, se ha prestado especial interés en mejorar la nutrición de las plantas mediante el uso de microorganismos del suelo que establecen simbiosis con el sistema radical de la planta hospedante y afectan significativamente su funcionamiento, en especial bajo condiciones de estrés abiótico o biótico. Por estas razones dichos microorganismos benéficos se han considerado agentes de fertilización biológica o biofertilizantes, mismos que SAGARPA (2016) ha promovido por las evidencias en el incremento del rendimiento de cultivos anuales y la disminución de emisiones de dióxido de carbono.

La interacción entre los componentes de una comunidad microbiana en los sistemas agroforestales puede manifestarse o no, en algún atributo morfológico o fisiológico de la planta hospedante, especialmente, en sistemas de producción sustentables o de bajos insumos, pero su incidencia efectiva depende del microorganismo, de las condiciones ambientales y edáficas (Qiu et al., 2008).

Algunas bacterias y hongos que viven en la porción de suelo influenciado por las raíces estimulan el crecimiento de los vegetales e inducen efectos positivos en su desarrollo y supervivencia (Artursson et al., 2006). Por ejemplo, las rizobacterias

promotoras del crecimiento vegetal y los hongos endomicorrízicos, que representan dos de los principales grupos de microorganismos benéficos de la rizosfera.

En México, se han documentado incrementos en el rendimiento y sus componentes en cultivos anuales al inocular hongos (MA) y bacterias fijadoras de nitrógeno bajo condiciones de campo (Aguirre-Medina, 2006). En cultivos perennes, como *Theobroma cacao* L. en vivero, Aguirre-Medina et al. (2007) citan mayor desarrollo vegetal cuando se incorporan juntos *R. intraradices* (Schenck & Sm.) Walker & Schuessler y *A. brasilense* Tarrand, Krieg & Döbereiner. En *Coffea canephora* (Pierre) ex Froehner, el número de hojas y la biomasa del tallo fue superior cuando se usan por separado (Aguirre-Medina et al., 2011).

La disminución de producción de biomasa en las praderas de *Brachiaria decumbens* Stapf durante la estación seca en la costa de Chiapas limita severamente la disponibilidad de forraje para el ganado bovino, resaltando la necesidad de explorar estrategias que mejoren la resiliencia y productividad de estos sistemas forrajeros. Frente a esta problemática, el uso de prácticas agronómicas sostenibles, como la inoculación con microorganismos beneficiosos, emerge como una alternativa prometedora para incrementar la eficiencia en la absorción de nutrientes y la tolerancia a condiciones de estrés por sequía.

Los hongos endomicorrízicos incrementan la absorción de nutrientes, especialmente de fósforo (Richardson et al., 2009), e inducen tolerancia al estrés hídrico (Sylvia, 2005). *Azospirillum* incrementa el desarrollo radical de la planta hospedante, mediante la producción de hormonas y la fijación de nitrógeno (Bashan y De Bashan, 2010) y *P. fluorescens* Migula estimula el crecimiento de las plantas y solubiliza minerales (Lucy et al., 2004).

Para abordar esta problemática, la metodología implementada contempla un diseño experimental bajo condiciones controladas de invernadero, ubicado en el Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Agrícolas, en Huehuetán, Chiapas. Se evaluará el efecto de la inoculación de *Brachiaria decumbens* Stapf con *Rhizophagus intraradices* y *Azospirillum brasilense*, monitoreando variables morfológicas y fisiológicas clave para determinar la influencia de estos biofertilizantes en el crecimiento y desarrollo del forraje. Este enfoque permite una evaluación rigurosa de las prácticas de manejo agronómico y su potencial para mejorar la sostenibilidad y productividad de las praderas en condiciones de estrés abiótico.

En este contexto, se propone evaluar el impacto de la inoculación con hongos endomicorrízicos y bacterias promotoras de crecimiento, específicamente *Rhizophagus intraradices* y *Azospirillum brasilense*, en la productividad de *Brachiaria decumbens* bajo las condiciones de invernadero en la costa de Chiapas. En base a lo anterior se presenta el siguiente objetivo de investigación.

2. OBJETIVOS E HIPOTESIS

2.1. Objetivo general

Identificar la influencia de dos microorganismos, *Rhizophagus intraradices* y/o *Azospirillum brasilense* en la asignación de materia seca y contenido de N y P de *Brachiaria decumbens* Stapf. solos o en interacción con dosis de fertilización química

2.2. Objetivos específicos

1. Identificar el efecto de la biofertilización de los microorganismos en el crecimiento de la parte aérea y radical de *Brachiaria decumbens* Stapf. y el contenido de N y P

2. Conocer el efecto de la fertilización química sintética en el crecimiento del pasto chontalpo solo y cuando se biofertiliza con los microorganismos

2.3. Hipótesis

H₁: La biofertilización de los microorganismos a *Brachiaria decumbens* Stapf y el fertilizante químico inducen respuesta diferencial en la asignación de biomasa aérea y radical y contenido de N y P en comparación con el testigo.

H₂: El nivel de respuesta vegetal del pasto chontalpo dependerá del número de simbiontes asociado a su sistema radical y la máxima expresión vegetal se logrará con la inclusión de la simbiosis doble.

3. MARCO TEORICO

3.1. Interacción planta-microorganismo

Las plantas interactúan con la gran diversidad de microorganismos que habitan en el suelo en una zona cercana a las raíces que lleva el nombre de rizosfera. Tal como menciona Velasco-Jiménez (2020) las rizobacterias son microorganismos que residen en la rizosfera, área del suelo que se encuentra unida a la raíz y que se extiende a pocos milímetros de la superficie del sistema radicular. En esta zona se establecen interacciones benéficas con las plantas, como mencionan Gastélum y Rocha (2020) inmunidad a la afección de un patógeno, promover el crecimiento vegetal por nutrición o aumentar su tolerancia al estrés biótico o abiótico. A su vez Guerrero (2003) y Martín (2011) contribuyen que la interacción entre las raíces de las plantas y los microorganismos del suelo es esencial para la resistencia a estreses no biótico, protección frente a patógenos, para su crecimiento y desarrollo. Según señalan Santoyo et al. (2023) las rizobacterias, como recurso microbiológico del suelo, proporcionan efecto positivo en las condiciones del suelo, además de mejoría en el desarrollo de las plantas. De manera general, bacterias de la rizosfera se dejan ver como elementos clave, optimizando las condiciones del suelo y el crecimiento vegetal, destacando su rol esencial en las interacciones agrícolas.

La relación planta-microorganismo se especializa con forme se va puntualizando las familias, géneros y especies, lo que permite focalizar los tipos de interacciones que suceden. Como menciona Ibarra (2017) existe potencial de las rizobacterias para mejorar el crecimiento y la nutrición, la adaptación y la productividad a través de la asimilación de nutrientes esenciales (Rodríguez-

Sahagún, 2020) en diversas condiciones de las especies que pertenecen a la familia de las poáceas.

Al considerar la interacción de diversas especies de pastos pertenecientes a las poáceas, López (2012) indica que las rizobacterias influyen en aumento en incremento en el peso del forraje la longitud y peso de raíz, que traduce en crecimiento vegetal.

Teniendo en cuenta la correlación entre las rizobacterias y el género *Brachiaria* mejoran el crecimiento y desarrollo de estos pastos (Herrera, 2012). Además, Espinales-Suárez et al. (2021), el propio Herrera y Eras (2012) coinciden al observar aumento en la longitud y peso de raíz, incremento en el peso del forraje. Sin embargo, Espinales-Suárez et al. (2021) igualmente reconocieron mejoría en composición química del forraje e incremento en biomasa. Concluyendo, la mutua cooperación entre las rizobacterias y los pastos, en particular el género *Brachiaria*, fomentan el crecimiento y el desarrollo de las plantas, realzando tanto la nutrición como la calidad y el crecimiento del forraje.

3.2. Fijación biológica de nutrientes

La fijación biológica de nitrógeno (FBN) mediante rizobios es una técnica eficaz en el incremento de la adaptabilidad y productividad de plantas en situaciones de déficit hídrico y nutricional (Cubillos-Hinojosa, 2023). Dentro de este contexto, es importante indicar que la aplicación de rizobacterias enriquece y extiende las ventajas derivadas de la fijación biológica de nitrógeno, tal como mencionan Camarena et al. (2023) que la inoculación con rizobacterias potencia la fijación de nutrientes, mejorando la formación de nódulos, aumento en el contenido de

nutrientes de las semillas, aumento en la resistencia a patologías. Además, Ferreira et al. (2022) destacan que estas rizobacterias no solo mejoran la nutrición y resistencia de las plantas, sino que también actúan como promotoras del crecimiento vegetal, principalmente a través de su rol en la fijación biológica de nitrógeno, un proceso esencial para el desarrollo de los cultivos.

Los hongos forman micorrizas (Vallejos et al., 2019), microorganismos fundamentales en suelos agrícolas, al contribuir de manera positiva en la disposición de nutrientes esenciales para las plantas. En este sentido Ordóñez et al. (2021) acreditan que las micorrizas arbusculares, establecidas por hongos (HMA), facilitan la transferencia de fósforo en suelos con escasa cantidad de este elemento nutricional. Así mismo, Cuevas et al. (2023) indican que la aplicación de HMA a las plantas aumenta de manera notable su capacidad para absorber nutrientes y crecer.

3.3. Biofertilización

Se considera biofertilizante a la sustancia que contiene organismos vivos que se inoculan a semillas, Gonzales (2019) lo define como “microorganismo inoculante” que aumentan la absorción de nutrientes por asociación simbiótica, consecuentemente colonizan la rizosfera de la planta para promover su crecimiento o aumentar la disponibilidad de nutrientes. Así mencionan, Armenta-Bojórquez et al. (2010) y Aguirre-Medina et al. (2019), los microorganismos (rizobios: bacterias y hongos) intervienen en la fijación biológica de nitrógeno, en la concentración de fósforo (Ibarra-Puón et al., 2014; Aguirre-Medina et al., 2019) y calcio (Aguirre-Medina et al., 2007) en el tejido vegetal.

La biofertilización implica incrementar la cantidad de microorganismos beneficiosos en el suelo o sustrato, con el objetivo de intensificar los procesos microbianos favorables y potenciar la disponibilidad de nutrientes absorbibles por las plantas (López, 2021). En congruencia con esta práctica, Aguirre-Medina et al. (2007) destacan que el uso de biofertilizantes microbianos en la nutrición de las plantas no solo complementa este enfoque, sino que también representa una estrategia para mejorar su productividad.

La asignación de materia seca y la respuesta del área foliar son consecuencia de biofertilizar (Anzueto-Herón et al., 2023). Siguiendo este concepto, Moreno et al. (2023) amplían al manifestar que la introducción de microorganismos beneficiosos es una estrategia clave en la biofertilización, que influye en el desarrollo y adaptabilidad de las plantas, lo cual se refleja en un aumento de la biomasa tanto aérea como subterránea.

3.4. Simbiosis micorrízica (*Brachiaria-Rhizophagus-Azospirillum*)

La asociación simbiótica micorrízica entre los géneros *Brachiaria*, *Rhizophagus* y *Azospirillum* propone una interacción compleja posiblemente ventajosa. Se prevé que *Rhizophagus* intensifique la captación de nutrientes en *Brachiaria* (Peña Sierra y Rodríguez Ramos, 2018; Adeyemi et al., 2021), al instante que *Azospirillum* participa en la fijación del nitrógeno (Gómez et al. 2014). Este vínculo alimenticio podría conducir a un crecimiento más robusto de la planta, incrementar su tolerancia a ambientes de estrés (Tyagi et al., 2021) y favorecer las propiedades del suelo. Sin embargo, es necesario dar descripción de los géneros involucrados en la asociación simbiótica para concebir lo antes mencionado.

La interacción simbiótica con microorganismos de los géneros *Rhizophagus intraradices*, *Azospirillum brasilense* se efectúa por inoculación de semillas (Ibarra-Puón et al., 2014; Cruz-Cárdenas et al., 2021) en sustratos en condiciones de vivero (Aguirre-Medina et al., 2021) donde el porcentaje de germinación de semillas es relevante (Rodríguez et al., 2019).

3.5. *Brachiaria decumbens* Stapf

La especie *B. decumbens* Stapf es un forraje resiliente clave para pastizales en ecosistemas tropicales. Es una poácea (Trópicos, 2024) originaria de África Oriental (Low, 2015), se ha propagado en numerosas regiones tropicales y subtropicales, entre las que se incluyen Australia, Vanuatu, Sudamérica, Brasil, Sri Lanka, Indonesia y Malasia (Muniandy et al., 2020). Es conocida como pasto Chontalpo (Enríquez et al., 2011) o Señal por la similitud de su flor con una señal de ferrocarril (Low, 2015). Además, Busqué y Busqué Marcos (2001), mencionan que es un forraje tropical ampliamente utilizado en pastizales por su notable por su robustez, producción de materia seca (Faria et al., 2018) y capacidad de adaptación a diferentes condiciones ambientales. Así mencionan Medina et al (2019) como una pastura que “se adapta a las condiciones de la región sureste de México y en Chiapas [...] existen grandes extensiones con características ambientales aptas para su establecimiento”. Por sus características particulares es una especie que crece bien en suelos de baja fertilidad (Rincón Castillo, 2011; Mena, 2015, p. 26).

Enríquez et al. (2011) describen a la gramínea [poácea] perenne del este de África tropical como una especie vigorosa, capaz de adaptarse a una diversidad de suelos, desde los más fértiles hasta aquellos ácidos de baja fertilidad. Sin embargo,

señalan su intolerancia a condiciones de mal drenaje, lo que limita su idoneidad en suelos de regiones con abundantes lluvias. Complementando esta percepción, se reconoce a *Brachiaria decumbens* Stapf como un recurso forrajero esencial en la agricultura de zonas tropicales, destacando su notable capacidad de adaptación a un amplio espectro de condiciones ambientales. Esta capacidad de adaptación es crucial para su uso en diversas zonas agrícolas, especialmente en regiones tropicales donde las condiciones del suelo y climáticas pueden variar significativamente.

3.6. *Rhizophagus intraradices*

Anteriormente conocido como *Glomus intraradices* (NCBI, 2020), es un hongo micorrízico arbuscular (HMA) (Adeyemi et al., 2021; Costello, 2023) que juega un papel crucial en la nutrición y crecimiento de las plantas. En este sentido, la contribución de *R. intraradices* se debe a su interacción simbiótica ayudando a los vegetales en la absorción de nutrientes (Ingraffia et al., 2019), esencialmente fósforo (Soretire et al., 2020). Además, *R. intraradices* se destaca por su presencia en diversas zonas agroecológicas (Adjanooun, 2011; Aguégué et al., 2021), caracterizándose como uno de los HMA de mayor adaptación y ampliamente distribuido (Kivlin, 2017). Por otro lado, González et al. (2008) infieren que *R. intraradices* contribuye a la salud del suelo y Taltal observaron respecto a la salud de las plantas inoculadas que mostraron tolerancia a un patógeno específico (Morales, 2011). Los atributos mencionados enfatizan el papel esencial de *R. intraradices* en la mejor calidad del suelo y en el incremento de la capacidad de resistencia vegetal.

3.7. *Azospirillum brasilense* Tarrand, Krieg et Döbereiner

Azospirillum brasilense es una bacteria (BacDive, 2024) fijadora de nitrógeno (Martin et al., 2010; Gómez et al. 2014) que interactúa con las raíces y es de gran interés en el sector agrícola por sus propiedades para estimular el crecimiento de las plantas. En este sentido, Zeffa et al. (2019) sugieren que *A. brasilense* promueve aumentos en el crecimiento y la eficiencia en la poácea (USDA, 2024) *Zea mays* L. (maíz) y llegan a la conclusión que la inoculación con la bacteria es una estrategia viable económicamente y sostenible ambientalmente para el cultivo de maíz. Asimismo, Boleta et al (2020) coinciden que la inoculación con *A. brasilense* promueve el crecimiento, la productividad, la nutrición sostenible y mayor biomasa (Aguirre-Cadena et al., 2014) de la poácea (POWO, 2024) *Triticum aestivum* L. y concluyen que la inoculación de la bacteria contribuye a disminuir la dependencia de fertilizantes sintéticos minerales, promoviendo una eficiencia en el crecimiento y en la nutrición del trigo.

3.8. Componentes del Rendimiento

Registrar la altura de planta a partir de la corona radical hasta el ápice de la hoja superior (Flores-Juárez et al., 2020). En este sentido, Luna-Fletes et al. (2023) han evidenciado un incremento en la altura de las plantas tras la inoculación con biofertilizantes, lo que sugiere una mejora en el crecimiento en longitud de estas. De manera complementaria, Wilches et al. (2022) han reportado diferencias significativas en plantas inoculadas con hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA), lo que indica que la inoculación con estos organismos podría estar contribuyendo al desarrollo general de las plantas.

Medir el diámetro de tallo se cuantifica a la altura de cinco a diez centímetros sobre la corona radical (Flores-Juárez et al., 2020). En congruencia, Luna-Fletes et al. (2023) han documentado un incremento en el diámetro del tallo en plantas que fueron inoculadas con biofertilizantes, lo que sugiere una influencia estructural positiva de estos agentes en las plantas. De forma paralela, Wilches et al. (2022) también han reportado valores significativos en el diámetro del tallo en plantas tratadas con hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA). Tales hallazgos convergen en la idea de que tanto los biofertilizantes como los HFMA juegan un papel crucial en el desarrollo morfológico de las plantas, específicamente en el engrosamiento del tallo.

Cuantificar el número de hojas por planta se efectúa desde el primer muestreo. Almaraz-Suárez et al. (2022) han destacado que la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) mejora el número de hojas en plántulas, lo que marca la eficacia de estos microorganismos en el desarrollo foliar. En contexto relacionado, Lozano-Contreras et al. (2013) observaron que la tasa de emergencia de hojas en pastos variaba significativamente en función de los inóculos aplicados. Ambas menciones sugieren que tanto los HMA como las BPCV y otros inóculos tienen un impacto considerable en el desarrollo foliar de las plantas.

Comprobar el peso seco de lámina foliar y tallo mediante la deshidratación, de los mencionados componentes fisiológicos de la planta.

Moreno et al. (2023) han identificado que la inoculación con la rizobacteria del género *Azospirillum* influye positivamente en la masa seca aérea de las plantas, lo que indica un efecto beneficioso en estas. En coherencia, Camarena et al. (2023)

han observado que las plantas bioinoculadas mostraron un aumento significativo en su peso fresco. Estos hallazgos sugieren que la bioinoculación, ya sea con rizobacterias específicas como *Azospirillum* o mediante otros métodos, puede ser una estrategia eficaz para mejorar la masa seca como el peso fresco de las plantas.

Establecer la relación hoja:tallo mediante el cociente del peso seco de la lámina foliar y el peso seco del tallo (Flores-Juárez et al., 2020). En congruencia, Aguirre-Medina et al. (2018) han documentado que la inoculación con rizobios resulta en un aumento del área foliar en las plantas, lo que indica una mejora significativa en el desarrollo foliar debido a la simbiosis con estos microorganismos. De manera complementaria, Ortiz (2015) ha observado que la interacción de los tratamientos con hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) mejora la relación hoja:tallo, lo que sugiere un equilibrio más favorable en el crecimiento de las plantas. Además, Flores-Juárez et al. (2019) reportaron que la inoculación con micorrizas conduce a un crecimiento mejorado en las plantas, evidenciado por incrementos porcentuales en el número de hojas en comparación con las plantas no inoculadas. En resumen se resalta la importancia de la inoculación con rizobios y micorrizas en la optimización del crecimiento y desarrollo de las plantas, mejorando tanto el área foliar como la relación hoja:tallo y el número de hojas.

Para determinar el porcentaje de colonización micorrízica se indica la técnica de tinción de raíces propuesta por Phillips y Hayman (1970) y Ordóñez et al (2021). En este sentido, Aguirre-Medina et al. (2018) han reportado un aumento en la colonización al inocular plantas con *Rhizophagus intraradices*, lo que demuestra la eficacia de este hongo micorrízico arbuscular (HMA) en la promoción de la simbiosis micorrízica. De manera complementaria, Cuevas et al. (2023) han observado que

las especies del género *Glomus* spp. de HMA muestran una densidad de colonización notoria, lo que indica un porcentaje más alto de colonización micorrícica en la rizósfera de las plantas. En conjunto, indican la importancia de los HMA en la mejora de la colonización micorrícica, un factor clave para el desarrollo y la nutrición eficiente de las plantas.

Determinar el peso seco de la parte aérea y el peso seco del sistema radical el método sugerido es de acuerdo Böhm (1979). En perspectiva, Cuevas et al. (2023), han demostrado que la inoculación con el género *Glomus* spp. resulta en un aumento tanto en la longitud como en la masa de las raíces, lo que implica un aumento en la biomasa subterránea de las plantas. De forma paralela, Ordóñez et al. (2021) y Moreno et al. (2023) han encontrado que la masa seca radical mejora significativamente con la inoculación de la rizobacteria *Azospirillum*. Además, Lozano-Contreras et al. (2013) han observado que tanto la biomasa de la materia seca aérea como la de la raíz, así como el volumen radical, responden positivamente a la interacción entre diferentes inóculos. En vinculación se sugiere que la inoculación con hongos micorrízicos y rizobacterias específicas puede ser una estrategia positiva para mejorar diversos aspectos del crecimiento de las plantas, incluyendo tanto la biomasa subterránea como la aérea.

4. MATERIALES Y METODOS

4.1. Localización geográfica

La presente investigación se realizó en las instalaciones del establecimiento del Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Agrícolas C-IV Municipio de Huehuetán Chiapas ubicado en el paralelo 15° 01' Latitud N y en el meridiano 92° 23' Longitud Oeste a 50 msnm. Se localiza en el entronque carretera costera y pueblo de Huehuetán.

4.2. Clima

El tipo de clima predominante en la región, de acuerdo la clasificación de Köppen modificado por García (1988), es de tipo Aw_2 (w'') i g, que corresponde al cálido tropical húmedo con lluvias en verano, con una precipitación media anual de 2,500 mm anuales comprendida entre los meses de junio y noviembre, con temperaturas promedio de 28°C.

4.3. Características del sitio experimental

El área donde se condujo el experimento es una estructura de metal cubierta por plástico, asimismo será cubierta con una malla antiáfida. El suelo utilizado pertenece al gran grupo de los fluvisoles-eútricos, típicos de la región ganadera del Soconusco, Chiapas. Se utilizaron macetas de plástico, previamente perforadas en la parte inferior para favorecer el drenaje, teniendo una capacidad de 2 Kg de suelo por maceta, una vez llenas se colocarán sobre bancales de madera con el objeto de evitar cualquier contacto con el suelo.

La presente investigación se realizó en invernadero inoculando las semillas de *Brachiaria decumbens* de los diferentes microorganismos antes de la siembra.

Se utilizaron macetas o bolsas de plástico calibre (500), con una capacidad de 2 kg de suelo por bolsas, previamente perforadas en la parte inferior para favorecer el drenaje. Se tendrán 5 repeticiones por tratamientos, realizando muestreos destructivos a los 7, 14, 21, 28, 35, 45 días, evaluando las diferentes variables por medir.

4.4. Tratamientos

Los tratamientos evaluados, además de un testigo, son los microorganismos biofertilizantes en sus diferentes combinaciones las cuales se describen a continuación.

- El biofertilizante INIFAP^{MR}, a base del hongo micorrízico *Rhizophagus intraradices* (Schenk et Sm) Walker et Schuessler, reproducido en suelo estéril. Al momento del envase se tuvieron 40 esporas por gramo de suelo y el nivel de colonización en el sistema radical del 95%.
- *Azospirillum brasilense* Tarrand, Krieg et Döbereiner, producido por el laboratorio de Microbiología Agrícola de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla con 500×10^6 bacterias de Turba⁻¹.

Como fuente de nitrógeno y fósforo se utilizó urea y superfosfato de calcio triple, respectivamente.

El experimento se estableció en el mes de febrero de 2023, los tratamientos se anotan a continuación:

1. Testigo Absoluto
2. *Azospirillum brasilense*
3. *Rhizophagus intraradices*
4. *A. brasilense* + *R. intraradices*
5. 100 –50 – 00
6. 100 – 50 – 00 + *A.brasilense* + *R. intraradices*

La semilla del pasto fue inoculada con los biofertilizantes previo a la siembra, el nitrógeno y el fósforo fueron aplicados en una sola parte también a la siembra.

Variables por medir

En la planta, se registraron las variables morfológicas y fisiológicas del rendimiento. La materia seca se determinó mediante deshidratación en una estufa de aire forzado por 72 horas a una temperatura de 75-80 °C y hasta peso constante. Todas las variables morfológicas y fisiológicas se muestrearon con frecuencia mensual (28 días). La materia seca se determinó mediante deshidratación en una estufa de aire forzado por 72 horas a una temperatura de 75-80 °C. El resto de las variables se describen a continuación.

- Altura de planta: Se registró con una cinta graduada a partir de la corona radical hasta el ápice de la hoja superior, en cm.
- Diámetro de tallo: se determinó mediante un vernier digital, a una altura de 5-10 cm, sobre la corona radical, en milímetros.
- Numero de hojas por planta: Se cuantificó el número de hojas totales por plantas. El número de hojas se registró a partir del primer muestreo.

- Peso seco de raíz, lámina foliar y tallo: La materia seca de la hoja y tallo, se determinó mediante la deshidratación, de cada componente fisiológico de la planta (lámina foliar y tallo), utilizando una estufa de aire forzado por 72 horas a una temperatura de 75-80 °C, posteriormente se registró el peso (g) de cada uno de los componentes con la ayuda de una balanza analítica digital.
- Relación hoja-tallo: se determinó dividiendo el peso seco de la lámina foliar entre el peso seco del tallo.
- Se determinó con el peso seco de la parte aérea y el peso seco del sistema radical de acuerdo con Boonstra, citado por Böhm (1979).
- Contenido de nitrógeno fósforo en tejido vegetal

Diseño experimental

Estos tratamientos al establecerse fueron distribuidos en un diseño completamente al azar ya que el sitio experimental es un invernadero. Se tuvieron suficientes macetas para realizar un muestreo destructivo, 3 de cada tratamiento y repetición por mes durante cuatro meses.

4.5. Análisis Estadístico

Los resultados de la investigación se analizaron en base a un diseño completamente al azar. Las diferencias entre medias de tratamientos se realizaron según Tukey al 5% de probabilidad. Se utilizará el SAS para el análisis de datos y el graficador Sigma Plot para Windows Ver. 11.0.

Meta(s) o resultado(s) esperado(s) productos a obtener, impacto esperado

Los resultados esperados de la presente investigación serán que la inoculación de los microorganismos biofertilizantes, promuevan al crecimiento vegetal de *Brachiaria decumbens* Stapf, incrementando la cantidad de forraje en las praderas. Se espera que las inoculaciones de los microorganismos biofertilizantes mejoren la calidad nutritiva o bromatología de *Brachiaria decumbens* Stapf.

Usuarios de la información generada y de los productos de investigación obtenidos

La información generada derivada de la presente investigación, podrán ser utilizado y aplicados por los ganaderos de Chiapas, de esta manera permitirá incrementar la producción de forrajes en las diferentes épocas del año, mejorando los sistemas de pastoreo en la región.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.6. Número de hojas

En forma general al inicio del estudio el número de hojas del *Brachiaria* presenta diferencias importantes (Figura 1).

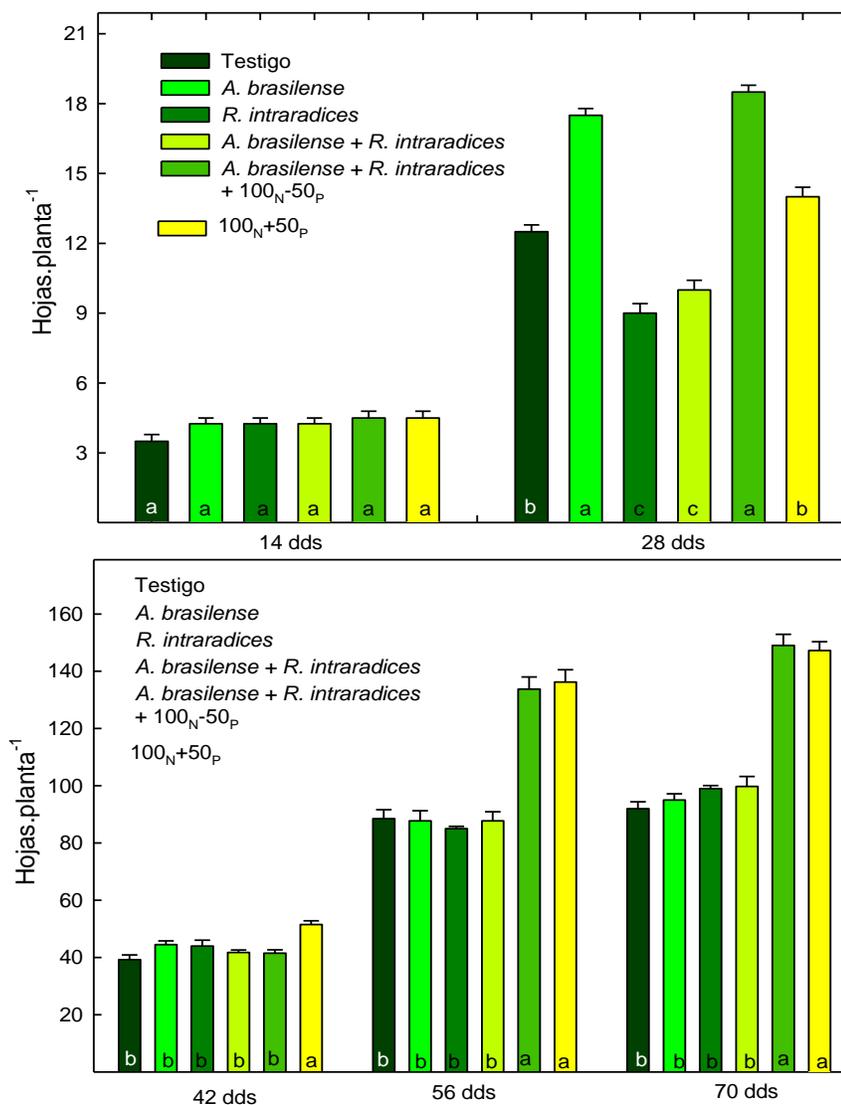


Figura 1. Número de hojas de *B. decumbens* Stapf cuando crece con dos microorganismos rizosfericos juntos o separados en interacción con fertilización química. La línea vertical indica \pm el error estándar en cada muestreo y las letras en la base de las columnas, la diferencia estadística según Tukey $p > 0.5$ %. CV, 14 dds 12.8%, 28 dds 5.2%, 42 dds 6.6%, 56 dds 6.5% y 70 dds 4.9 %.

Los resultados más importantes en esta especie se encontraron a partir del segundo muestreo, es decir, después de los 28 días de la siembra (dds). El mayor número de hojas se presentó con *Azospirillum* solo y en combinación con *R. intraradices* más la dosis de fertilización química y donde se incluyó la simbiosis doble más la dosis de fertilidad.

Durante el tercer muestreo fue más evidente el aumento en el número de hojas con el tratamiento a base de fertilizante químico. Existe evidencia de la importancia del nitrógeno químico en la promoción del número de hojas en los pastos tropicales. Este mismo hecho permaneció durante los muestreos cuatro y cinco. En estos suelos fluvisoles, la deficiencia de nitrógeno es marcada y la suplementación de la fuente química favorece el desarrollo de la planta.

En los tratamientos biofertilizados con los dos microorganismos, la mayor cantidad de hojas se registró en la simbiosis doble *R. intraradices* y *A. brasilense* más fertilizante químico.

A los 56 y 70 dds, el tratamiento donde se aplicaron los dos microorganismos *Azospirillum* + *Rhizopagus* y se adicionó el fertilizante químico, presentó el mayor número de hojas y fue estadísticamente superior en comparación al resto de los tratamientos. La coinoculación de los dos microorganismos en diversas plantas ha demostrado inducir efecto sinérgico en el desarrollo vegetal de la planta huésped (Cano, 2011). Esta respuesta puede deberse a la demanda de fotosintatos de parte de los microorganismos. En algunas asociaciones de plantas, este proceso de demanda de carbohidratos puede ser alto. En cultivos perennes como *Coffea*

canephora, a los 112 dds se presenta la mayor cantidad de hojas cuando se biofertilizan los dos microorganismos, *A. brasilense* + *R. intraradices* con y sin fertilizante químico y sin diferencia estadística en los tratamientos solos los microorganismos de *A. brasilense* y *R. intraradices*.

Resultados sobre el mayor número de hojas en algunas plantas perennes tropicales en vivero se reportan, en cacao (Aguirre et al., 2007), cafeto (Aguirre et al., 2011). En cultivos de zonas áridas, los hongos endomicorrizicos presentaron buena respuesta en la cantidad de hojas en dos leguminosas, *Acacia farnesiana* y *Prosopis glandulosa* a nivel de vivero, evaluando tres tipos de sustrato como tepetate, suelo forestal y agrícola (Hernández et al., 2006).

Flores et al. (2008), realizaron un estudio con *Glomus intraradices* y *Glomus etunicatum* en el que se encontró un incremento de cinco hojas de *Leucaena*, en comparación con el testigo.

4.7. Asignación de materia seca por componente del rendimiento

La asignación de materia seca del *Brachiaria decumbens* Stapf. al sistema radical, biofertilizado con dos microorganismos solos o combinados, o bien, bajo un nivel de fertilidad en un suelo Fluvisol de la región baja del Soconusco Chiapas, presentó diferencias contrastantes desde el primer muestreo (Cuadro 1).

La menor asignación de materia seca al sistema radical se presentó con el testigo a los 14 dds y la más alta con la biofertilización de los dos microorganismos más la dosis de fertilización química sintética. Resultados similares se citan con la

biofertilización de *R. intraradices* en plantas de *Tabebuia donnell-smithii* (Aguirre et al., 2011) y *Theobroma cacao* L (Aguirre et al. 2007).

El sistema radical de las plantas biofertilizadas presenta diferencia estadística ($P \leq 0.05$) desde el primer muestreo y todos los tratamientos superaron al testigo. El valor más alto de materia seca de la raíz se presentó con la biofertilización de los dos microorganismos a *B. decumbens* Stapf más la aplicación de la dosis de fertilizante químico (Cuadro 1) y esta misma tendencia se presentó en el segundo muestreo a los 28 dds.

En el tercer muestreo se incrementó notablemente el crecimiento radical de las plantas biofertilizadas con *R. intraradices* y estadísticamente superior ($P \leq 0.05$) al resto de los tratamientos excepto a la fertilización química.

Cuadro 1. Comparación de medias de peso seco de *B. decumbens* Stapf. biofertilizado con *R. intraradices* y *A. brasilense* al momento de la siembra en interacción con dosis de fertilizante químico.

Tiempo (días)	Tratamiento	Peso seco (g.planta ⁻¹)			
		Raíz	Tallo	Lámina foliar	Vaina de la hoja
14	Testigo	0.023 e		0.015 c	0.017 d
	<i>A. brasilense</i>	0.034 c		0.010 c	0.010 f
	<i>R. intraradices</i>	0.037 b		0.021 a	0.021 a
	<i>A. brasilense</i> + <i>R. intraradices</i>	0.034 c		0.019 b	0.018 c
	<i>A. brasilense</i> + <i>R. intraradices</i> +100N-50P	0.050 a		0.014 c	0.014 e
	100N + 50P	0.030 d		0.020 ab	0.020 b
	CV*	0		3.4	0
28	Testigo	0.100 d	0.014 e	0.150 c	0.078 c
	<i>A. brasilense</i>	0.733 bc	0.019 d	0.420 a	0.344 a
	<i>R. intraradices</i>	0.367 cd	0.014 e	0.140 c	0.078 c
	<i>A. brasilense</i> + <i>R. intraradices</i>	0.533 bcd	0.039 c	0.260 bc	0.129 c
	<i>A. brasilense</i> + <i>R. intraradices</i> +100N-50P	1.700 a	0.081 b	0.380 ab	0.349 a
	100N + 50P	0.900 b	0.092 a	0.400 ab	0.239 b
	CV	11.6	2.8	20.0	8.9
42	Testigo	1.575 b	1.20 b	1.625 c	0.675 d
	<i>A. brasilense</i>	1.375 b	1.30 b	1.550 c	0.750 d
	<i>R. intraradices</i>	3.400 a	2.55 a	2.775 a	1.150 b
	<i>A. brasilense</i> + <i>R. intraradices</i>	2.075 b	1.43 b	1.250 c	0.975 c
	<i>A. brasilense</i> + <i>R. intraradices</i> +100N-50P	1.525 b	2.50 a	1.925 bc	0.925 c
	100N + 50P	3.525 a	2.38 a	2.400 ab	1.450 a
	CV	11.1	5.3	14.5	6.4
56	Testigo	2.250 b	9.60 c	3.925 c	3.37 c
	<i>A. brasilense</i>	2.400 b	5.20 e	4.400 c	1.82 d
	<i>R. intraradices</i>	3.400 b	6.00 d	4.700 c	1.70 d
	<i>A. brasilense</i> + <i>R. intraradices</i>	6.700 a	10.52 b	6.825 b	3.20 c
	<i>A. brasilense</i> + <i>R. intraradices</i> +100N-50P	5.275 a	15.25 a	9.200 a	5.22 a
	100N + 50P	3.575 b	10.70 b	8.775 a	4.27 b
	CV	17.7	2.9	7.9	4.3
70	Testigo	9.850 d	9.65 e	6.875 c	3.42 d
	<i>A. brasilense</i>	12.675 bc	13.33 c	8.550 c	5.30 c
	<i>R. intraradices</i>	10.900 cd	10.23 e	8.075 c	3.47 d
	<i>A. brasilense</i> + <i>R. intraradices</i>	11.775 cd	11.90 d	8.275 c	5.15 c
	<i>A. brasilense</i> + <i>R. intraradices</i> +100N-50P	17.075 a	24.83 a	16.875 a	10.40 a
	100N + 50P	12.700 b	20.95 b	11.900 b	6.55 b
	CV	6.9	3.9	9.8	5.4

CV = Coeficiente de variación (%). * Los valores con letra diferente dentro de cada factor y columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$)

La respuesta del pasto a este tiempo parece estar relacionada con el proceso de colonización radical en interacción con la fertilización. Los fertilizantes, como el fósforo incrementan el desarrollo de la raíz, así mismo el nitrógeno induce mayor crecimiento en el pasto. El segundo muestreo 56 dds, la producción más alta de biomasa radical fue el en el tratamiento fertilizado y el resto tubo una similitud a diferencia de *R. intraradices* más sustrato.

La mayor asignación de biomasa seca al sistema radical del pasto se presenta con *R. intraradices* más las dosis de fertilización. En el caso de los hongos micorrizicos, una vez que es colonizado el sistema radical, aumenta la cantidad de exploración de las plantas y su reflejo en los nutrientes del cultivo ha sido consignado por diferentes autores (Kapulnik et al., 1985; Lin et al., 1983; Aguirre y Velasco, 1994; Medina y Shibata, 2002) A los 56 dds la biomasa radical se incrementó en las plantas biofertilizadas con los dos microorganismos más la fertilización química y al final de la evaluación presenta este mismo resultado.

La biomasa del tallo se evaluó a partir de los 28 dds y el mismo presenta el mayor incremento en los tratamientos donde se aplicó la fertilización química. En el tercer muestreo el incremento más importante se presentó en los tratamientos biofertilizados con *R. intraradices* y cuando se aplicaron los dos microorganismos *A. brasilense* y *R. intraradices* más la fertilización química y en el mismo grupo estadístico se incluyó la aplicación sola de la fertilización química del *B. decumbens* Stapf. Los tres tratamientos fueron estadísticamente ($P \leq 0.05$) diferentes al resto de los tratamientos.

La biofertilización de los microorganismos juntos para la asignación de biomasa al tallo sugiere compatibilidad entre los tres organismos. Estos antecedentes sugieren la funcionalidad de los microorganismos en interacción con las plantas (Jaderlund et al., 2008), como la respuesta encontrada con *L. leucocephala* (Medina et al., 2018), que la simbiosis induce cambios en su fisiología (Barea et al., 2002). En *Coffea arabica* L. var Oro azteca con *R. intraradices* se incrementa la biomasa del tallo (Aguirre et al., 2011).

La asignación de materia seca a la lámina foliar presenta también diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) desde el primer muestreo a los 14 dds. En este caso, el mayor incremento se presentó con la biofertilización de *R. intraradices* sola y con la fertilización química. El incremento en la acumulación diferencial de materia seca en la biomasa de la hoja con la biofertilización sola de *R. intraradices* confirma la mejora en captación de nutrientes y en general en la productividad vegetal de la planta hospedante (Moora et al., 2004).

A los 28 dds el mayor incremento de biomasa a la lámina foliar se presentó con la biofertilización de *A. brasilense* y cuando se biofertilizaron los dos microorganismos solos o en interacción con la dosis de fertilización química. A los 42 dds se presentó la misma respuesta que a los 14 dds, es decir incremento de biomasa en lámina foliar con *R. intraradices* y con la fertilización química. En ambos casos fueron estadísticamente ($P \leq 0.05$) diferentes al resto de los tratamientos.

Al respecto Wright, et al. (2005) señalan la importancia de la nutrición de las plantas micorrizadas y su mejoría en la fotosíntesis, como respuesta al aumento de

la hifa externa que permite explorar mayor volumen de suelo y se extiende la superficie de toma de nutrientes (Ness y Vlek, 2000). Resultados similares citan Portugal et al. (2006) al evaluar diferentes hongos endomicorrizicos en el desarrollo vegetal de *S. rebaudiana*.

Los últimos dos muestreos, a los 56 y 70 dds los tratamientos con mayor incremento de biomasa en lámina foliar se presentó con la biofertilización doble sola y en combinación con la fertilización química.

La vaina de la hoja también se incrementó con la biofertilización sola de *R. intraradices* y fue estadísticamente diferente ($P \leq 0.05$) al resto de los tratamientos durante el primer muestreo.

A los 28 dds, se aprecia diferencia estadística superior con *A. brasilense* y la inoculación de los dos microorganismos juntos más la fertilización química. Esta tendencia siguió en las siguientes evaluaciones, es decir, a los 56 y 70 días con este mismo tratamiento se registró la mayor cantidad de biomasa de la vaina de la hoja.

Es posible afirmar que el afecto del hongo endomicorrízico está presente en la acumulación de biomasa en la lámina foliar y vaina de la hoja pues en todos los tratamientos en los que se inoculo, indujo mayor cantidad de materia seca. En *Brachiaria brizantha* pasto insurgente y *Clitoria ternatea* o conchita azul, la asignación de la materia seca o tallo o vaina de la hoja tuvo una respuesta diferente con los microorganismos inoculados a la semilla (Aguirre et al., 2009).

4.8. Asignación de biomasa

La asignación de materia seca de *B. decumbens* a los diferentes componentes del rendimiento, se presenta en la Figura 2.

Entender el crecimiento, como el aumento irreversible en el tamaño de un individuo asociado casi siempre con un aumento en su complejidad, nos ayuda a identificar el efecto de los microorganismos de la rizosfera en simbiosis con la planta hospedera. El análisis del crecimiento de las plantas representa el primer paso en el análisis de la producción primaria en sus diferentes componentes, que son los que regulan la producción final (Casierra y Vargas, 2015). Así el rendimiento, entendido como la expresión fenotípica de interés antropocéntrico, es el resultado final de los procesos fisiológicos que se reflejan en la morfología de la planta (Aguirre et al, 2012).

La respuesta de los microorganismos en el desarrollo vegetal refleja crecimiento diferencial en tiempo y entre sus órganos. La mayor o menor asignación de biomasa hacia algunos órganos de la planta, parece estar influenciada por la biofertilización aplicada a su sistema radical y casi en todos los casos, después del amplio desarrollo de un órgano en un periodo de tiempo, tiende a disminuir en el siguiente periodo, pero con incremento importante en otro órgano de la planta.

En general, la biofertilización de *B. decumbens* con *R. intraradices* aumenta significativamente la asignación de materia seca a los diferentes componentes del rendimiento, en comparación al control (Vosatka y Albrechtova, 2009; Cogo et al., 2017), y *A. brasilense* en la etapa inicial de crecimiento.

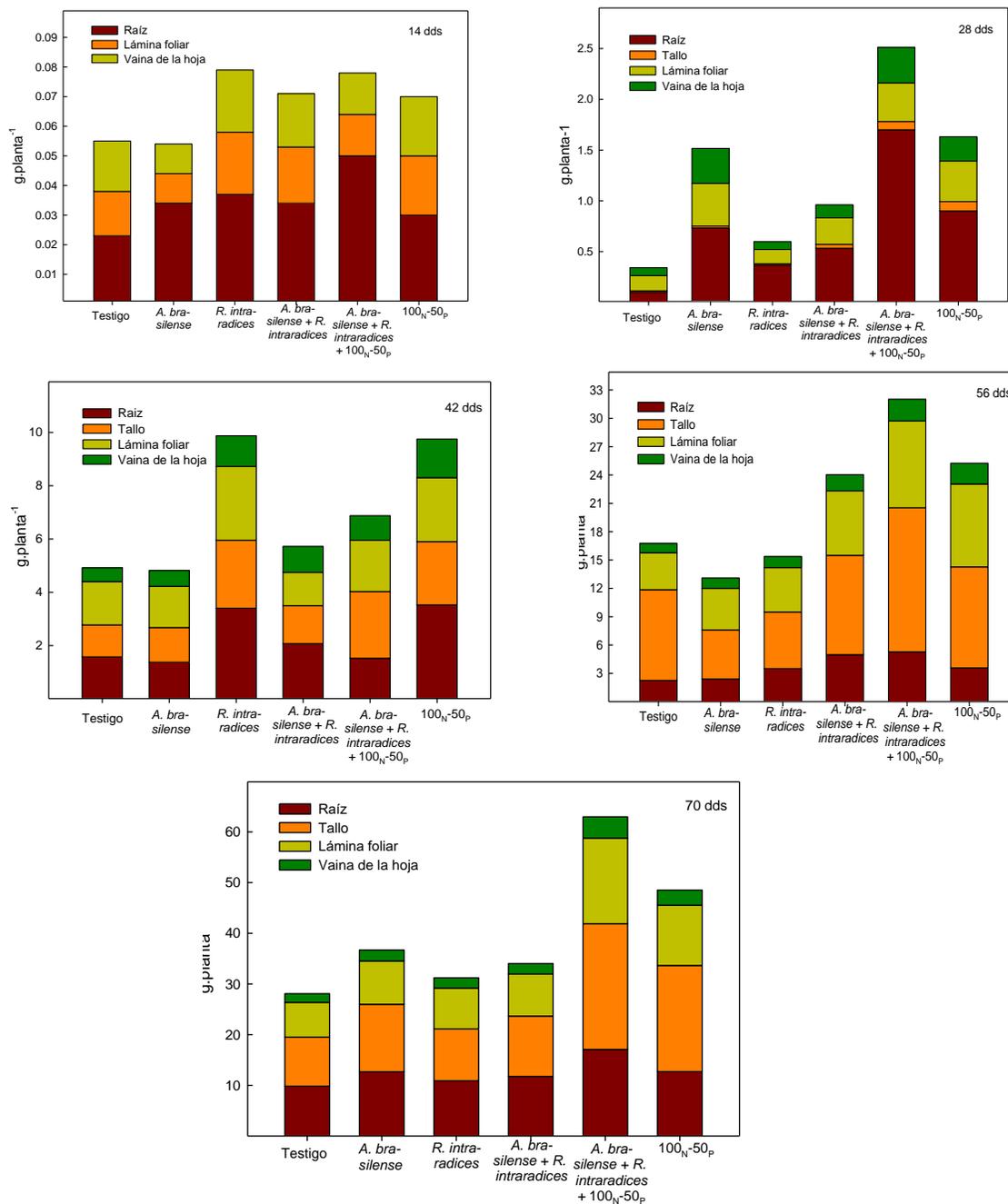


Figura 2. Dinámica de la asignación de materia seca por componente del rendimiento de *Brachiaria decumbens* biofertilizado con dos microorganismos biofertilizantes solos o combinados con fertilización química. Los valores son promedio de cinco repeticiones.

En cambio, en el segundo muestreo, a los 28 dds, el incremento en los componentes del rendimiento fue mayor con *A. brasilense* en comparación con *R. intraradices* y el testigo. Sin embargo, cuando se incluyeron los dos microorganismos más la fertilización química sintética de N y P se logró la mayor acumulación de materia seca.

La menor inducción del crecimiento de algunas plantas con los microorganismos se puede atribuir a ciertas condiciones ambientales y de suelo que pueden influir en los resultados de inducción de biomasa. Los hongos endomicorrízicos de un suelo se comportan diferente a los de otros suelos (Hart y Reader, 2002; Jefwa et al. 2006).

La asignación de materia seca a las diferentes estructuras de la planta, como el sistema radical, el tallo y lamina foliar se ven modificados cuando se incluyen los biofertilizantes microbianos, como los hongos endomicorrízicos, bien sea en suelo o en sustratos con adición de otros componentes, como estiércol de bovino, de la industria avícola, o desechos agroindustriales, como bagazo de caña, cascabillo de café, cáscara de cacao entre otros.

Con respecto a los microorganismos la inoculación de estos, solos o combinados superaron al testigo en la inducción de biomasa en el vástago.

En el caso de la simbiosis entre los hongos endomicorrízicos y las plantas se favorece la ampliación del sistema radical y actúa como complemento de la raíz

(Uribe, 2019). Los hongos endomicorrízicos junto con el resto de los microorganismos, son fundamentales en el ciclo de los nutrientes, más aún al considerar que la disponibilidad de los nutrientes es heterogénea en los suelos.

A. brasilense promueve el desarrollo radical de las plantas mediante diferentes mecanismos de acción (Okon y Kapulnik, 1986; Loredó et al., 2004) y de esta manera, mejora la absorción de nutrientes y favorece su crecimiento. En nuestro caso favoreció la asignación de biomasa en la parte radical y aérea de la planta. Además, se han consignado hechos de que las plantas inoculadas únicamente con *R. intraradices* se caracteriza por producir menor peso seco en la raíz, como en cacao (Aguirre-Medina et al., 2007) y en frijol (Medina y Shibata, 2002). Al parecer la hifa del hongo sustituye los pelos radicales y la planta deriva más fotosintatos para la acumulación de biomasa en la parte aérea en lugar del sistema radical (Aguirre-Medina, 2006; Aguirre-Medina, et al., 2011).

Barea *et al.* (1991), explica que la colonización micorrízica incrementa el área de exploración radical de las plantas y sus consiguientes incrementos en la absorción de nutrimentos, lo que implica, que en una misma condición de disponibilidad de estos, se presenta mayor aprovechamiento y crecimiento de las plantas en el caso de una micorrización eficiente, lo cual con los resultados encontrados en esta investigación, nos demuestra que la cepa utilizada fue eficiente ya que supero al testigo en la inducción de biomasa aérea y radical.

4.9. Relación hoja/tallo

La relación hoja tallo en *B. decumbens* durante la etapa de evaluación se presenta en la Figura 3.

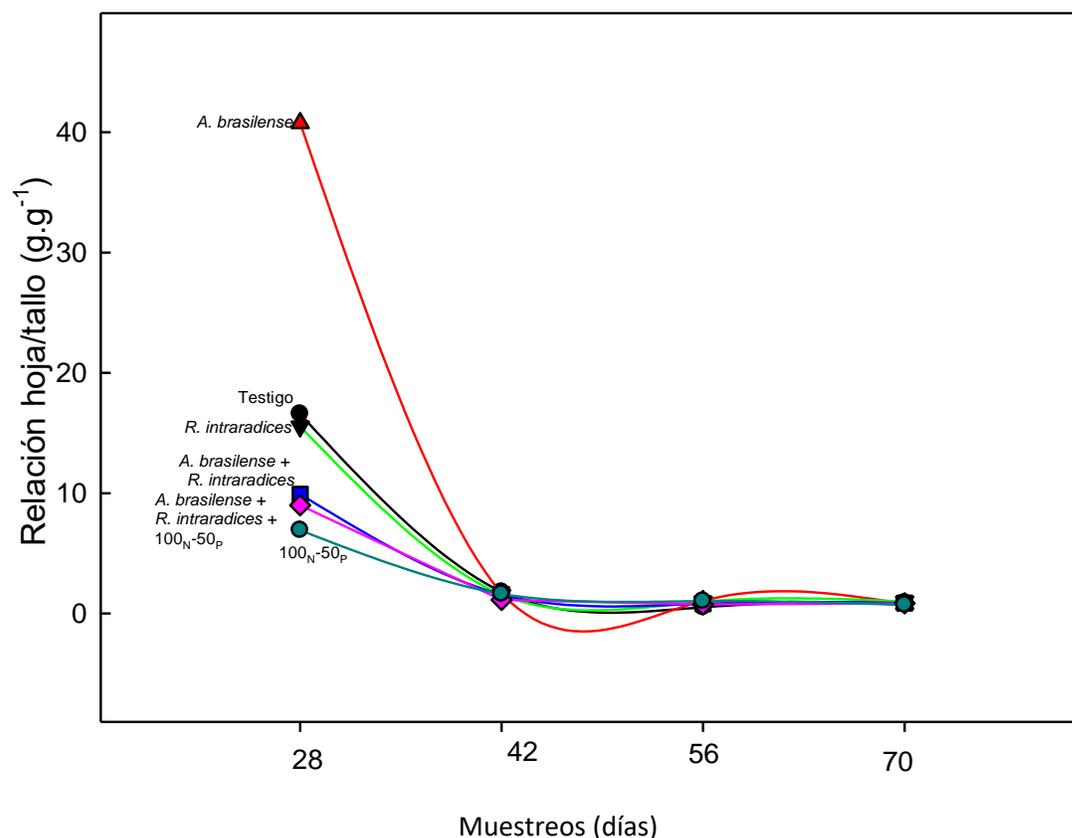


Figura 3. Relación hoja/tallo del pasto *B. decumbens* Stapf biofertilizado con dos microorganismos al momento de la siembra, solo y combinados y en interacción con dosis de fertilización química.

Esta relación tiene aceptación cuando se incrementa el número de hojas en relación con el tallo del pasto. En nuestro caso, no se presentan cambios notables en la misma durante los muestreos realizados, con excepción al muestro inicial a los 14 dds, donde el tratamiento a base de *A. brasilense* incrementa notablemente

la relación de hoja con respecto al tallo, pero en los muestreos siguientes, no se presentan diferencias en los mismos

4.10. Relación raíz/vástago

La relación raíz/vástago de *B. decumbens* biofertilizado con *R. intraradices* y *A. brasilense* solos o combinados en dos sustratos diferentes se muestra en la figura 4.

Durante la etapa inicial, 14 días después de trasplante (ddt), el crecimiento del sistema radical es mayor en comparación a la parte aérea en todos los tratamientos. Lo anterior sugiere que este crecimiento inicial puede ser un factor genético de la especie. Sin embargo, en los tratamientos biofertilizados solos, o bien, en interacción con la dosis de fertilizante químico sintético, superaron la producción de biomasa radical en comparación al testigo y cuando se aplicó la fertilización química.

En el muestreo a los 28 dds el incremento en biomasa aérea y radical fue con los microorganismos *A. brasilense* solo, en conjunto con *R. intraradices* más la fertilización química. El crecimiento más bajo se registró con el testigo.

A los 42 dds el crecimiento de las plantas más alto se presentó con *R. intraradices* y disminuyó con *A. brasilense*. El efecto anterior demuestra que la simbiosis de los microorganismos se expresa en el crecimiento de la planta hospedante a diferente tiempo, bien sea por demanda de fotosintatos o por la funcionalidad de las estructuras micorrízicas (Marschner y Dell, 1994), lo cual es probable que los azúcares durante los primeros 28 dds del establecimiento de la

colonización no fueron suficientes, afectándolo en la promoción del desarrollo vegetal.

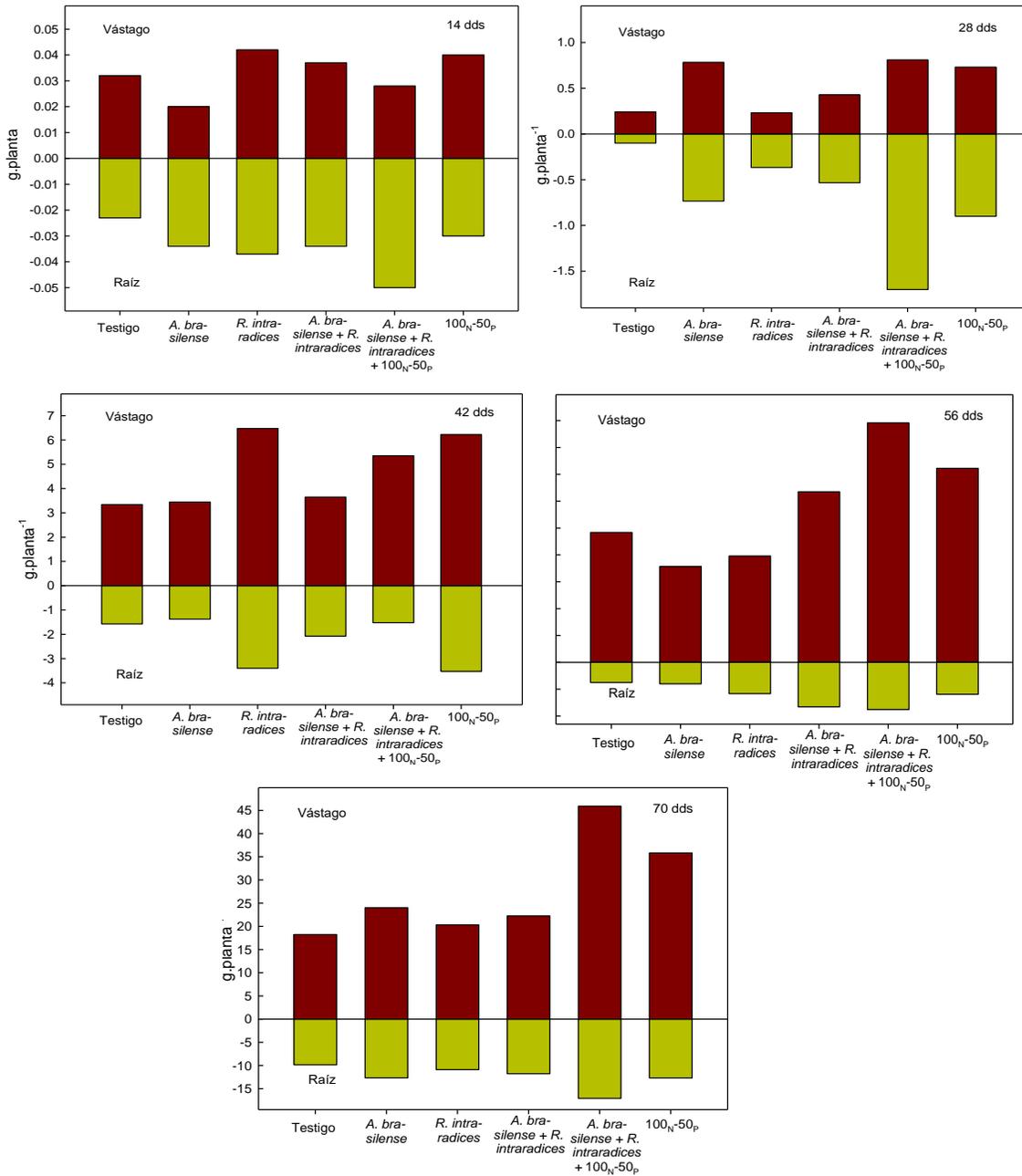


Figura 4. Relación raíz/vástago de *B. decumbens* Stapf biofertilizado con dos microorganismos, juntos o separados en interacción con dosis de fertilización química. Los valores son promedios de cinco repeticiones en cada muestreo

A los 56 y 70 dds los tratamientos biofertilizados en conjunto con los dos microorganismos más el fertilizante químico sintético indujeron el mayor crecimiento aéreo y radical del *B. decumbens*. Un efecto similar se presenta con la fertilización química sintética.

Varios estudios han demostrado que la co-inoculación de las plantas con hongos y bacterias induce efecto sinérgico en su interacción (Artursson et al., 2006; Lalitha et al., 2011), aun cuando, la colonización radical incrementa la demanda por carbohidratos con la co-inoculación de más de un microorganismo. En nuestro caso, el incremento en la acumulación de biomasa en el tratamiento con los dos microorganismos juntos, indica la afinidad funcional de los mismos con la planta y se sugiere que la planta hospedante pudo abastecer carbono suficiente a los microorganismos.

El crecimiento más importante a la inducción de la biomasa de la parte aérea y radical con la fertilización química se atribuye a la fertilidad lograda con la dosis aplicada.

La asignación de biomasa al vástago y la raíz refleja la interacción entre la planta y los microorganismos y este mismo efecto lo citan Olanrewaju et al. (2019). En el caso de *R. intraradices* los beneficios en ambos órganos, aéreo y radical de las plantas, se asocian al transporte de nutrientes y agua (Pereira, et al., 2001). El transporte de nutrientes y agua a la planta se incrementa porque la hifa es más delgada que las raíces y pueden acceder a sitios, donde normalmente no penetran

las raíces o los pelos radicales, y de esta manera se incrementa su capacidad de explorar mayor volumen del suelo para la toma de nutrientes (Ness y Vlek 2000).

El aumento en la relación raíz/vástago parece estar relacionada con el crecimiento modular de las plantas. Según Perreta y Vegetti (2005), el crecimiento se regula por caracteres genéticos que varían sólo en un rango específico de plasticidad fenotípica. La expresión del crecimiento modular de los estratos de la planta, mantienen unidos fisiológicamente los módulos e integran un todo, con una típica fase de crecimiento exponencial, seguida por un período en que la tasa de iteración de nuevos módulos y acumulación de biomasa declina hasta alcanzar el tamaño máximo (Collado, 1997).

La menor inducción del crecimiento de algunas plantas se puede atribuir a ciertas condiciones ambientales y de suelo que pueden influir en los resultados de inducción de biomasa. Los hongos endomicorrízicos de un suelo se comportan diferente a los de otros suelos (Hart y Reader, 2002). Está también altamente influenciado por varios factores ambientales, incluyendo las condiciones climáticas, la edad y variedad de la planta hospedera. (Jefwa et al. 2006).

4.11. Tasa Relativa de crecimiento

La tasa relativa de crecimiento representa la cantidad de materia seca producida por unidad de tiempo. En la presente investigación se presenta cambios importantes entre algunos tratamientos inoculados con diversos microorganismos al momento de la siembra (Figura 5).

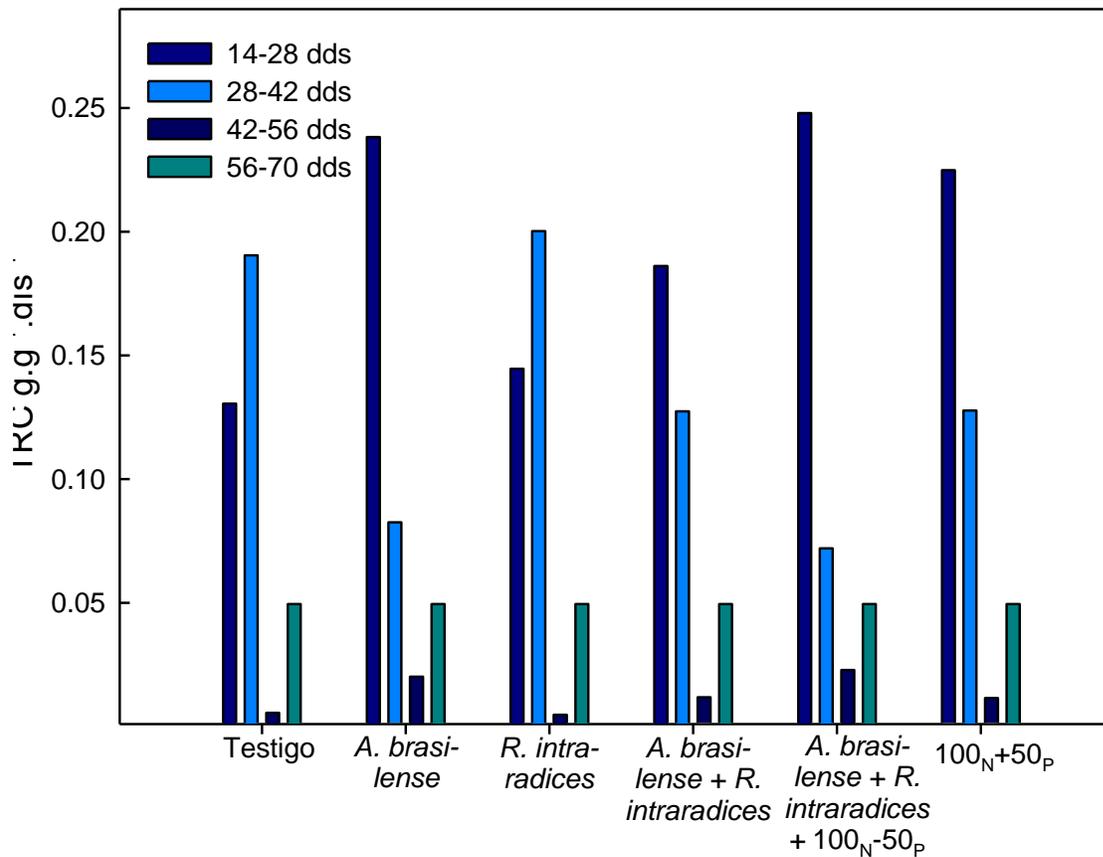


Figura 5. Tasa Relativa de Crecimiento (TRC) del pasto *B. decumbens* Stapf biofertilizado con dos microorganismos solos o separados en interacción con dosis de fertilización química. Los valores son promedios de cinco plantas por tratamientos y muestreo.

Al inicio de la evaluación (14-28 dds) las plantas biofertilizadas con *A. brasilense*, la combinación de los dos microorganismos solos o en interacción con la dosis de fertilización química, así mismo el tratamiento solo fertilizado, mostraron la mayor tasa relativa de crecimiento en comparación con el testigo y la biofertilización de *R. intraradices*.

En el periodo de 28 a 42 dds la mayor tasa de crecimiento se expresó en los tratamientos testigo y cuando se biofertilizó con *R. intraradices*. Lo anterior refleja

que la interacción entre las plantas y los microorganismos del suelo expresan a diferente tiempo su capacidad de inducción en la biomasa de la planta hospedante. Después del alto crecimiento inicial con el hongo endomicorrízico se disminuye durante dos meses para continuar nuevamente el incremento de su crecimiento. En el caso del control sucede lo contrario, el incremento inicial en biomasa es menor, pero se incrementa en el segundo y tercer muestreo en *T. cacao* y en el segundo en *C. canephora*. La respuesta

Generalmente durante sus primeros estadios, el crecimiento suele tener una dinámica exponencial y refleja diferencias significativas entre especies (Villar et al., 2008).

Posteriormente (42-56 dds) todos los tratamientos redujeron drásticamente su tasa de crecimiento; sin embargo, la mayor tasa relativa de crecimiento a esta fecha se registró con la inoculación de *A. brasilense* y cuando los microorganismos fueron aplicados juntos más la dosis de fertilización química.

En todos los casos, la tasa relativa de crecimiento tiende a disminuir a través del tiempo (Aristizábal, 2008; Santos et al., 2010) debido principalmente a la mayor proporción de células que no se dividen en relación con las que si lo hacen (Milthorpe et al, 1982).

Los beneficios por efectos de la inoculación de ciertos microorganismos, para la promoción de la mayor tasa relativa de crecimientos, han sido consignados por Culebro (2011), Ruiz (2013) y Mina (2013) en especies forestales tropicales.

Al final del estudio, en el último periodo de evaluación, la tasa de crecimiento no presentó cambios contrastantes con los tratamientos establecidos.

Estudios en invernadero demuestran que la asociación de algunos microorganismos en las raíces de las plantas producen diversos cambios y/o modificaciones a nivel fisiológico, entre los que destacan los incrementos en la actividad fotosintética (Velasco et al., 2001), por efecto de la mayor capacidad de fijación de CO₂ y por consiguiente, el incremento de las tasas de crecimiento (Culebro, 2011; Mina, 2013) y biomasa producida, en las plantas perennes biofertilizadas en comparación con plantas testigo (Aguirre et al., 2011; Anaya et al., 2011).

En cambio, en los cultivos anuales el mayor crecimiento se presenta alrededor de los 30 días después de la biofertilización con incremento en la tasa media relativa de crecimiento (Aguirre y Aguirre, 2022) y el área foliar (Aguirre et al, 2016) La respuesta de los microorganismos en la inducción del crecimiento vegetal es diferente entre sus órganos. En todos los casos, la tasa relativa de crecimiento tiende a disminuir a través del tiempo.

Al respecto respuesta diferencial en crecimiento, además, que las plantas tienen respuesta diferente a los aislamientos geográficos cuando se inocula una misma especie (Herón, 2023). En cambio, en *C. odorata* la tasa de crecimiento fue más alta en el testigo en las fechas evaluadas. La expresión fisiológica de las plantas parece estar relacionada con su crecimiento modular entre sus órganos a través del tiempo.

4.12. Contenido de Nitrógeno y Fósforo en tejido vegetal.

4.12.1. Contenido de N

El contenido de nitrógeno se determinó en todo el tejido vegetal de la planta a los 70 ddt. Los valores se presentan en la Figura 6.

Figura 1

Contenido de N en *B. decumbens* biofertilizado con *R. intraradices* y /o *A. brasilense*.

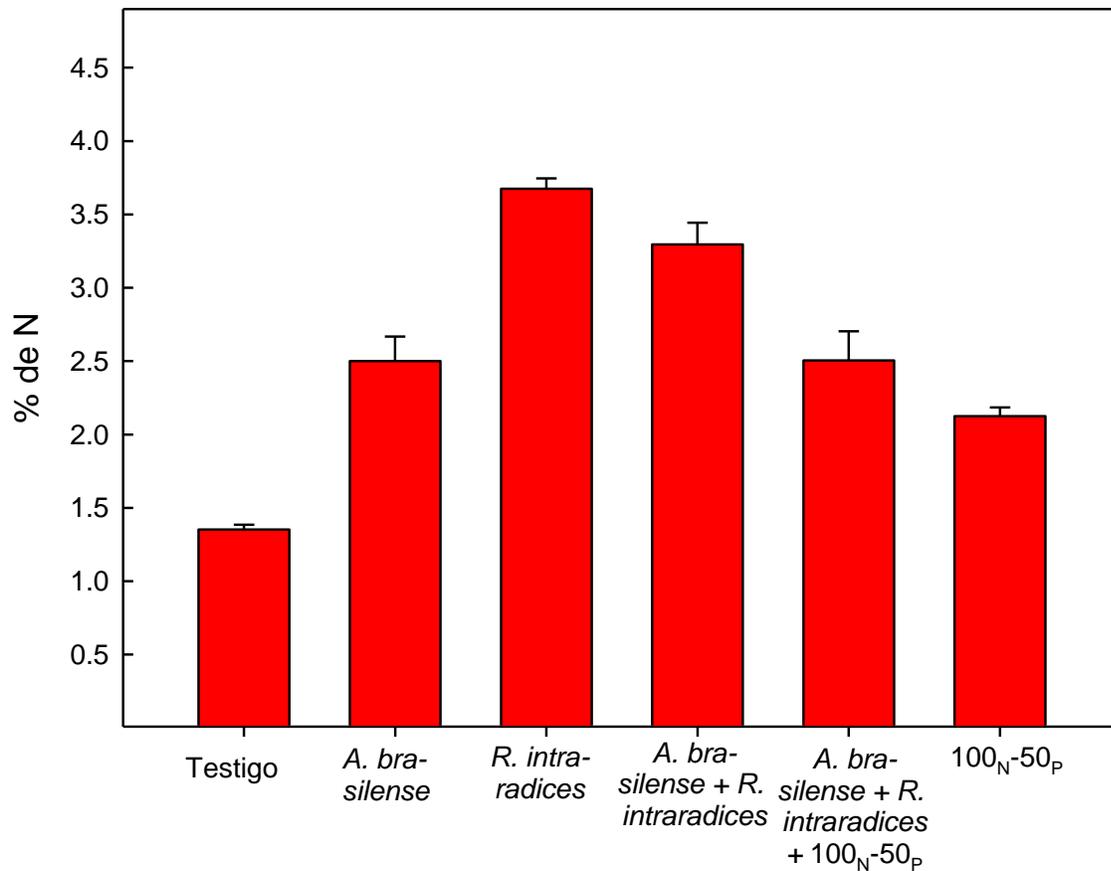


Figura 6. Contenido de Nitrógeno en tejido vegetal de *B. decumbens* Stapf biofertilizado con dos microorganismos a la siembra en interacción con dosis de fertilización en invernadero. Los valores son promedio de cinco repeticiones.

El mayor contenido de N se presentó en las plantas donde se incluyeron los dos microorganismos solos, o bien, en combinación con la dosis de fertilización

La función de los microorganismos en el transporte de los nutrientes hacia la planta, como sucede con los hongos endomicorrízicos y en el caso de *A. brasilense*, que además fija nitrógeno atmosférico se expresa en mayor contenido nutrimental del tejido vegetal, aun cuando, el contenido de nitrógeno en el tejido vegetal es muy dinámico tanto en el suelo como en la planta (Alva et al., 2006).

Aunado a lo anterior, es probable que las variaciones en el contenido de nitrógeno en las plantas también se afectaron por las características arenosas del suelo fluvisol. Al respecto, Castellano et al. (2000) mencionan que las principales pérdidas del nitrógeno se presentan en suelos arenosos, debido a la alta porción de poros grandes y el bajo contenido de arcilla que facilitan las pérdidas de agua y nutrimentos como el nitrógeno nítrico, además reporta que las pérdidas del nitrógeno (N) por la vía de la lixiviación pueden ser de hasta 40% bajo laminas excesivas de riego o altas precipitaciones.

El tratamiento con la fertilización química no reflejó concentración importante del N en el tejido vegetal de la planta. Existen evidencias en otras plantas de que el hongo endomicorrízico prefiere algún tipo de fuente nitrogenada para transportar a la planta huésped.

En algunas especies forestales como cedro, Mina (2013) citan mayor contenido de nitrógeno en tejido vegetal con la adición de estiércol y en primavera con la adición de gallinaza al sustrato (Ruiz, 2013). En papaya, Constantino et al.

(2011) reportan mayor contenido de nitrógeno en tejido vegetal con la adición de composta y cascarilla de cacao. Por su parte Velasco et al. (2001) cita en tomate mayor contenido de nitrógeno cuando se adicionó vermicomposta al sustrato.

Las diferencias en la presencia del nitrógeno en el tejido de las plantas con los microorganismos se pueden atribuir al efecto dilución que, presentado el contenido de nitrógeno en el tejido vegetal, ya que estos tratamientos aportaron mayor biomasa con relación al testigo (Cuadro 1).

López y Estañol (2007) citan que las tendencias de la concentración de cada uno de los nutrimentos debería estar relacionado con el crecimiento vegetal, sin embargo el efecto de dilución puede ocurrir en los casos de nutrimento cuya disponibilidad en el suelo es insuficiente para abastecer acorde a la tasa de crecimiento, esto significa que el crecimiento vegetal no solo depende de la concentración nutrimental en sus tejidos, como de manera lógica se espera, por lo que la concentración nutrimental es un resultado del proceso del crecimiento vegetal. Bellote y Ferreira (1995) en hojas de *Eucalyptus grandis*, citan el efecto de dilución para el Calcio (Ca) y Boro (B), causados por un crecimiento mayor de los árboles, además López y Estañol (2007) reportan en *Pinus leiophylla*, dilución en nutrimento como Hierro (Fe) y Cobre (Cu).

Aguirre et al. (2011) reporta resultados contrarios en café árabe Var. Oro azteca; citando mayor contenido de nitrógeno cuando se inoculo por separado *R. intraradices* y *A. brasilense*, además mencionan que la respuesta de la inoculación con *R. intraradices* en el aporte de contenido de nitrógeno en tejido vegetal el efecto

se presentó a partir de los 90 dds, y en el caso de *A. brasilense* lo fue después de los 150 dds. Por otra parte, Anaya et al. (2011) en café árabe Var. Bourbon citan mayor contenido de nitrógeno en tejido vegetal, mediante la inoculación *R. intraradices* y *Azotobacter*.

En general, se ha demostrado la importancia de micorriza para transportar nutrientes, más allá de la zona de agotamiento alrededor de la raíz (Smith et al., 2003; Wright et al., 2005). Ames y Bethlenfalvay (1987) mencionan que la micorriza arbuscular absorbe NH_4^+ a menores concentraciones que la raíz, pero también lo puede hacer con el NO_3^- . Con respecto a las bacterias fijadoras de nitrógeno, como es el caso de *Azospirillum*, los primeros mecanismos propuestos para la promoción del crecimiento vegetal han sido relacionados con la fijación biológica de nitrógeno, o por el incremento de la actividad nitrato reductasa en condiciones endófitas (Anaya et al., 2011).

4.12.2. Contenido de Fósforo

El contenido de fósforo en el tejido vegetal de *B. decumbens* Stapf biofertilizado con *R. intraradices* y *A. brasilense* solo o combinados, además de incluir una dosis de fertilizante químico, se presenta en la Figura 7.

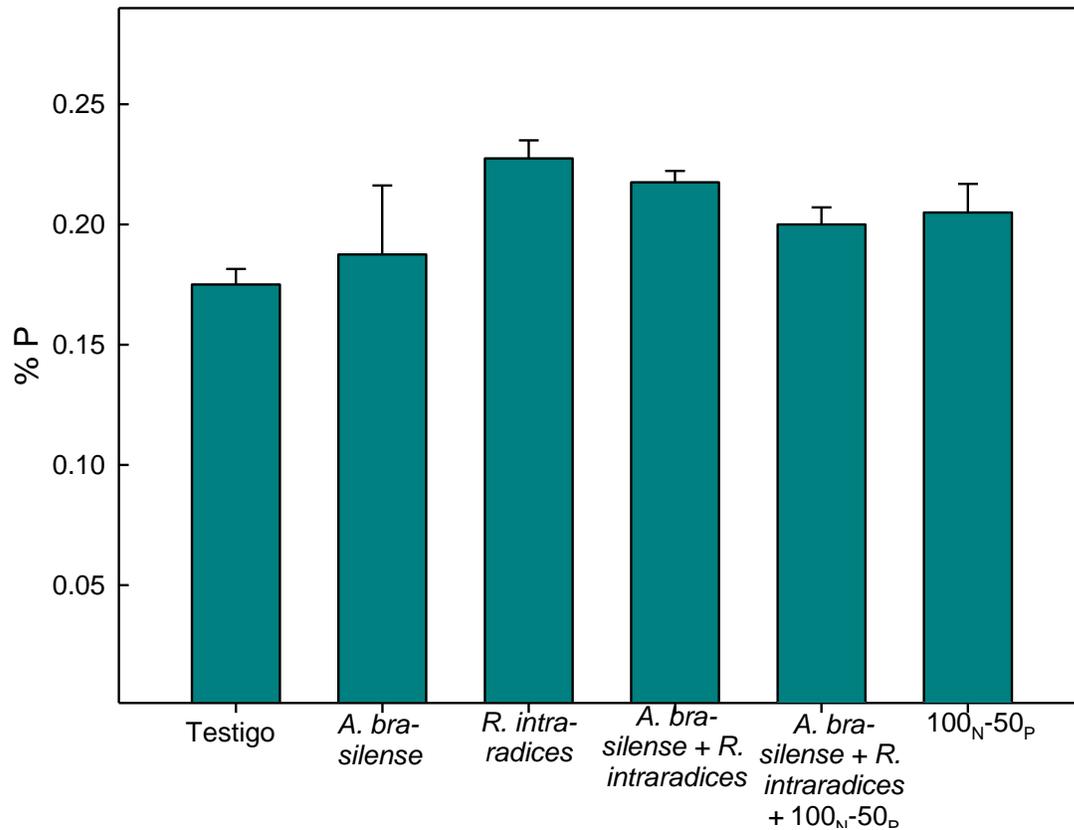


Figura 7. Contenido de fósforo en tejido vegetal de *B. decumbens* Stapf biofertilizado con dos microorganismos a la siembra en interacción con dosis de fertilización en invernadero. Los valores son promedio de cinco repeticiones.

En el caso del fósforo se presenta el mismo efecto, es decir los valores más altos se presentaron cuando se aplicó solo el hongo endomicorrízico al *B. decumbens*. Se han documentado estas evidencias de mayor contenido de fósforo en la planta huésped en diversos cultivos, como cedro (Mina, 2013), *Theobroma cacao* (Aguirre et al., 2007), *Coffea arabica* (Moroyoqui, 2005).

El que los tratamientos sin inocular obtuvieran menor contenido de fosforo vegetal en relación con los inoculados con algunos de los microorganismos bien sea solo o combinado.

La preferencia del hongo endomicorrízico por transportar fósforo al tejido vegetal de la planta hospedante ha sido demostrado (Ferrera y Alarcón, 2004). El mecanismo se favorece al formar un vínculo entre la planta y el suelo, y las plantas micorrizadas absorben los nutrientes de poca movilidad (como el fósforo) en comparación con las plantas no micorrizadas (Blanco y Salas, 1997; Colozzi y Cardoso, 2000).

También es importante notar que el hongo endomicorrízico permite a la planta usar de manera más eficiente los nutrientes del suelo, razón por la cual se pueden reducir los problemas de contaminación de éste por el exceso de fertilizantes químicos, si hay una reducción en la aplicación de estos (Cuenca et al., 2007).

5. CONCLUSIONES

La biofertilización de *B. decumbens* Stapf. en vivero con alguno de los microorganismos biofertilizados individualmente y en coinoculación favoreció el crecimiento y la asignación de materia seca de los componentes morfológicos y fisiológicos del rendimiento en comparación con el testigo sin biofertilizar.

Los cambios más contrastantes en la asignación de materia seca se presentan a partir de los 14 dds y la expresión vegetal más alta y recurrente se presentó con la biofertilización de los dos microorganismos.

La biomasa aérea y radical de *B. decumbens* Stapf. expresan respuesta diferencial en interacción con los microorganismos solos o en co-inoculación.

Los parámetros de crecimiento como la Tasa Relativa de Crecimiento en interacción con los microorganismos presentan crecimiento inicial lento seguido por un incremento de este.

El contenido de nitrógeno en el tejido vegetal se incrementó en los tratamientos biofertilizados con los dos microorganismos juntos y fósforo se incrementó con la biofertilización sola del hongo endomicorrízico y disminuyó en interacción con las diferentes dosis de fertilización química.

6. REFERENCIAS

- Adeyemi, N. O., Atayese, M. O., Sakariyawo, O. S., Azeez, J. O., Olubode, A., Ridwan, M., Sakariyawo, O. S., Ridwan, M., Adebayo, A., Adebayo, R. y Adeoye, S. (2021). A growth and phosphorus uptake of soybean (*Glycine Max L.*) in response to arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus Intraradices* inoculation in heavy metal-contaminated soils. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 30(6), 698-713.
- Adjanohoun, A., Baba-MouSSA, L., Kakai, R. G., Allagbe, M., Yehouenou, B., Gotoechanhodonou, H., Sikirou, R., Sessou, P., y Sohounhloue, D. C. (2011). Caractérisation des rhizobactéries potentiellement promotrices de la croissance végétative du maïs dans différents agrosystèmes du Sud-Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5(2). 10.4314/ijbcs.v5i2.72073.
- Aguégué, R. M., Assogba, S. A., Salami, H. A., Koda, A. D., Agbodjato, N. A., Amogou, O., Sina, H., Salako, K. V., Ahoyo, N. R. A., Dagbénonbakin, G., Kakai, R. G., Adjanohoun, A. y Baba-Moussa, L. (2021). Organic fertilizer based on rhizophagus intraradices: Valorization in a farming environment for maize in the south, center and north of Benin. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 605610. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.605610>
- Aguirre, M. J. F. (2006). *Biofertilizantes microbianos: Experiencias agronómicas del programa nacional del INIFAP en México*. Libro Técnico Núm. 2. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

- Aguirre, M. J. F. y Aguirre, C. J. F. (2022). Biofertilización de plantas tropicales perennes con hongo endomicorrizico y bacteria fijadora de nitrógeno en vivero. *AgroDivulgación*, 2(1).
- Aguirre, M. J. F., Aguirre, C. J. F., Cadena, I. J., y Avendaño, A. C. H. (2012). Biofertilización en plantas de la selva húmeda tropical. México: Colegio de Postgraduados.
- Aguirre, M. J. F., Aguirre, C. J. F. y Ramón, C. M. A. (2016). Crecimiento de *Tabebuia donnell-smithii* Rose inoculada con hongos micorrizogenos arbusculares y rizobacterias. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 7(36), 99-112.
- Aguirre, J. F. M., M. B. Irizar, A. G., Durán, O. A. P., Grajeda, M. A. C., Peña, C. R., Loredó, O. y Gutiérrez, B. A. (2009). *Los biofertilizantes microbianos: alternativa para la agricultura en México*. Libro Técnico Num. 5. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Aguirre, J. F. M., Mendoza, A. L., Cadena, J. I. y Avendaño, C. H. A (2007). Efecto de la biofertilización en vivero del cacao (*Theobroma cacao* L) con *Azospirillum brasilense* Tarrand, Krieg et döbereiner y *Glomus intraradices* Schenk et Smith. *Interciencia*, 32(8), 541-546.
- Aguirre, J. F. M., Moroyoqui, D. M. O., Mendoza, A. L., Cadena, J. I., Avendaño., C. H. A. y Aguirre, J. F. C. (2011). Aplicación de *A. brasilense* y *G. intraradices* a *Coffea arabica* en vivero. *Agronomía Mesoamericana*, 22(1), 1-10.

- Aguirre, M. J. F. y Velasco, Z. E. (1994). Componentes morfológicos y fisiológicos del rendimiento de *Leucaena leucocephala* al inocularse con micorriza VA y/o *Rhizobium loti*. *Agricultura técnica en México*, 20(1), 43-54.
- Aguirre-Medina, J. F., Cadena-Iñiguez, J., Olguín-Hernández, G., Aguirre-Cadena, J. F., y Andrade-Luna, M. I. (2021). Co-Inoculation of *Sechium edule* (Jacq.) Sw. Plants with *Rhizophagus intraradices* and *Azospirillum brasilense* to Reduce *Phytophthora capsici* Damage. *Agriculture*, 11(5), 391.
- Aguirre-Medina, J. F., Iñiguez, J. C., Zebadúa, M. E. V., y Arrazate, C. H. A. (2019). Influencia de *rhizophagus intraradices* (schenck & sm.) walker & schüßler en el rendimiento de maíz. *Interciencia*, 44(5), 274-279.
- Aguirre-Medina, J. F., Mendoza-López, A., Cadena-Iñiguez, J., y Avendaño-Arrazate, C. H. (2007). Efecto de la biofertilización en vivero del cacao (*Theobroma cacao* L) con *Azospirillum brasilense* Tarrand, Krieg et döbereiner y *Glomus intraradices* Schenk et Smith. *Interciencia*, 32(8), 541-546.
- Aguirre-Medina, J. F., Mina-Briones, F. O., Cadena-Iñiguez, J., y Soto-Hernández, R. M. (2018). Efectividad de biofertilizantes y brasinoesteroide en *Stevia rebaudiana* Bert. *Agrociencia*, 52(4), 609-621.
- Almaraz-Suárez, J. J., Ferrera-Cerrato, R., González-Mancilla, A., González-Mancillas, R., Orona-Castillo, I., Gutiérrez-Guzmán, U. N., y Preciado-Rangel, P. (2022). Eficiencia fotoquímica y crecimiento de chile poblano inoculados con rizobacteria y hongos micorrízicos arbusculares. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9(3). <https://doi.org/10.19136/era.a9n3.3126>

- Alva, A. K., Paramasivam, S., Fares, A., Obreza, T. A. y Schumann, A. W. (2006). Nitrogen best management practice for citrus trees: II. Nitrogen fate, transport, and components of N budget. *Scientia Horticulturae*, 109(3), 223-233.
- Ames, R. N., y G. Bethlenfalvay. (1987). Localized increase in nodule activity but no competitive interactions of cowpea rhizobia due to pre-establishment of vesicular-arbuscular mycorrhiza. *New Phytologist*. 106: 207-215.
- Anaya, M. D. L. A., Jarquín, R. G., Hernández, C. R., Figueroa, M. S. y Monreal, C. T. V. (2011). Biofertilización de café orgánico en etapa de vivero en Chiapas, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(3), 417-431.
- Anzueto-Herón, Z. C., Aguirre-Medina, J. F., Aguirre-Cadena, J. F., y Pedro, C. I. (2023). Growth of Four Varieties of *Coffea arabica* L. Biofertilized with *Rhizophagus intraradices* and *Azospirillum brasilense* in Nursery. *American Journal of Plant Sciences*, 14(5), 552-568. <https://doi.org/10.4236/ajps.2023.145038>
- Aristizábal, M. (2008). Evaluación del crecimiento y desarrollo foliar del plátano hondureño enano (*Musa AAB*) en una región cafetera colombiana. *Agron*, 16(2), 23-30.
- Ariza, C., Mayorga, O. L., Guadrón, L., Valencia, D. M., Mestra, L. I., Santana, M. O., Ortiz, R. E., Pérez, N., Camargo, D. B., Carvajal, C. T., Parra, D. M. y Sierra, A. M. (2020). *Alimento: el valor nutricional de recursos forrajeros de Colombia*. Sistema de información. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/36525>.
- Armenta-Bojórquez, A. D., García-Gutiérrez, C., Camacho-Báez, J. R., Apodaca-Sánchez, M. Á., Gerardo-Montoya, L., y Nava-Pérez, E. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*, 6(1), 51-56.

- Artursson, V., Finlay, R. D. y Jansson, J. K. (2006). Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and bacteria and their potential for stimulating plant growth. *Environmental microbiology*, 8(1), 1-10.
- BacDive. (2024). *Azospirillum brasilense*. The Bacterial Diversity Metadatabase. <https://bacdive.dsmz.de/strain/13972>
- Balocchi L., Oscar, Pulido F., Rubén, y Fernández V., Javier. (2002). Comportamiento de vacas lecheras en pastoreo con y sin suplementación con concentrado. *Agricultura Técnica*, 62(1), 87-98. <https://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072002000100009>
- Barea, J. M., Azcón-Aguilar, C., Ocampo, J. A., & Azcón, R. (1991). Morfología, anatomía y citología de las micorrizas vesículo-arbusculares. *Fijación y movilización biológica de nutrientes, Madrid*, 149-173.
- Barea, J. M., Azcón, R. y Azcón-Aguilar, C. (2002). Mycorrhizosphere interactions to improve plant fitness and soil quality. *Antonie van leeuwenhoek*, 81, 343-351.
- Bellote, A. y Ferreira, C. (1995). Nutrientes minerales y crecimiento de árboles abonados de *Eucalyptus grandis* en el Estado de São Paulo. *Bosque (Valdivia)*, 16(1), 69-75.
- Blanco, F. y Salas, E. (1997). Micorrizas en la agricultura: contexto mundial e investigación realizada en Costa Rica. *Agronomía costarricense*, 21(1), 55-67.
- Boleta, E. H. M., Shintate Galindo, F., Jalal, A., Santini, J. M. K., Rodrigues, W. L., de Lima, B. H. D., Arf, O., da Silva, M. R., Buzetti, S., y Teixeira Filho, M. C. M. (2020). Inoculation with growth-promoting bacteria *Azospirillum brasilense* and its effects

- on productivity and nutritional accumulation of wheat cultivars. *Frontiers in sustainable food systems*, 4, 607262.
- Böhm W (1979) Methods of Studying Root Systems. *Springer*. pp. 127-139.
- Busqué, J., y Busqué Marcos, J. (2001). Structure, morphogenesis and patterns of defoliation of *Brachiaria decumbens* stapf. Pastures. *Annexe Thesis Digitisation Project 2017 Block 16*.
- Calsamiglia, S. (1997). Nuevas bases para la utilización de la fibra en dietas de rumiantes. XIII Curso de Especialización FEDN, Madrid.
- Camarena, E. L. V., Saravia, D., Huaranga-Joaquín, A., Caycho, P., Quiñones, R., Mostacero, E., y Zúñiga-Dávila, D. (2023). Combination of two bacterial strains *Bradyrhizobium* sp and *Bacillus* sp as Biofertilizer and Biocontrol in the Cultivation of Tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) in the Peruvian Highlands. *Peruvian Journal of Agronomy*, 7(1), 51-68. <https://doi.org/10.21704/pja.v7i1.2002>
- Cano, M. A. (2011). Interacción de microorganismos benéficos en plantas: Micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. Una revisión. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 14(2), 15-31.
- Casierra, F. P. y Vargas, N. J. P. (2015). Análisis del crecimiento en plantas de cebolla de bulbo.
- Cogo, F.D., Gontijo-Guimarães, P.G., Pouyú-Rojas, E., Saggin-Júnior, O.J., Siqueira, J.O. y Car-bone-Carneiro, M.A. (2017) Arbuscular mycorrhiza in *Coffea arabica* L. Review and Me-ta-analysis. *Coffee Science, Lavras*, 12 (3), 419 – 443.

- Collado, L. V. (1997). Aspectos ecológicos y evolutivos de la arquitectura modular en plantas: perspectivas en algas marinas. *Revista Chilena de Historia Natural*, 70, 23-39.
- Colozzi, A. F. y Cardoso, E. J. B. N. (2000). Detecção de fungos micorrízicos arbusculares em raízes de cafeeiro e de crotalaria cultivada na entrelinha. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35, 2033-2042.
- Constantino, M., Gómez, R., Álvarez, J. D., Pat, J. M. y Espín, E. G. (2011). Efecto de la inoculación de *Azotobacter chroococcum* y *Glomus intraradices* en el crecimiento y nutrición de plántulas de papaya en fase de vivero. *Agronomía Costarricense*, 35(1), 15-31.
- Costello, C. R. (2023). The Effect of Rhizophagus intraradices Mycorrhizal Fungus on Iron Uptake of Corn: A Global Overview on the Effects of Climate Change on the Nutritional Content of Crops. *PSU McNair Scholars Online Journal*, 16(1), 1.
- Cruz-Cárdenas, C. I., Zelaya Molina, L. X., Sandoval Cancino, G., Santos Villalobos, S. D. L., Rojas Anaya, E., Chávez Díaz, I. F., y Ruíz Ramírez, S. (2021). Utilización de microorganismos para una agricultura sostenible en México: consideraciones y retos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(5), 899-913. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i5.2905>
- Cubillos-Hinojosa, J. G., Tofiño Rivera, A. P., Suarez-Fragozo, E. C., Aguirre López, L., y Gómez Ramírez, L. F. (2023). Selección de rizobios eficientes en líneas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes a sequía. *Bioteología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, 21(2), 32–49. <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v21.n2.2023.2188>

- Cuevas, C. V. M., Herrera-Feijoo, R. J., Carranza-Patiño, M. S., y Morante-Carriel, J. (2023). Inoculación de hongos micorrízicos arbusculares en *Ochroma pyramidale* (balsa) en fase de vivero. *Green World Journal*. <https://doi.org/10.53313/gwj62084>
- Cuenca, G., Cáceres, A., Oirdobro, G., Hasmy, Z. y Urdaneta, C. (2007). Las micorrizas arbusculares como alternativa para una agricultura sustentable en áreas tropicales. *Interciencia*, 32(1), 23-29.
- Culebro, F. C. (2011). *Crecimiento de primavera Tabebuia donnell-smithii* Rose con *Azospirillum brasilense*, *Krieg et Döbereiner* y *Glomus intraradices* Schenk et *Smith* en vivero. [Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Chiapas]. Repositorio institucional.
- Enríquez, Q. J. F., Meléndez, N. F., Bolaños, A. E. D., y Esqueda, E. V. A. (2011). Producción y manejo de forrajes tropicales. *Medellín de Bravo, Veracruz, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*.
- Eras, F. G. B. (2012). *Empleo de rizobacterias como promotores de crecimiento vegetal en la Asociación del pasto mulato (Brachiaria híbrido mulato) con kudzú (Pueraria phaseoloides) y clitoria (Clitoria ternatea)* [Tesis de grado. Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. Repositorio Institucional UTEQ <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/2466>
- Espinales-Suárez, H. O., Pincay-Ganchozo, R., y Luna-Murillo, R. A. (2021). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal inoculadas en dos asociaciones forrajeras: *Brachiaria decumbens* + *Clitoria ternatea* y *Brahiaria híbrido cv. Mulato* + *Clitoria ternatea*. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(2), 2134-2148. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i2.423

- Faria, B. M., Morenz, M. J. F., Paciullo, D. S. C., Lopes, F. C. F., y Gomide, C. A. D. M. (2018). Growth and bromatological characteristics of *Brachiaria decumbens* and *Brachiaria ruziziensis* under shading and nitrogen. *Revista Ciência Agronômica*, 49, 529-536.
- Ferrera, R. C. y Alarcón, A. (2004). Biotecnología de los hongos micorrízicos arbusculares. In *Memoria Simposio de Biofertilización (eds)*. Río Bravo, Tamaulipas, México (pp. 1-9).
- Flores-Juárez, D. Y., Villegas-Aparicio, Y., Castro-Rivera, R., Carrillo-Rodríguez, J. C., Castañeda-Hidalgo, E., y Gómez-Vázquez, A. (2019). Efecto de la inoculación con hongos micorrízicos en el rendimiento de avena forrajera. *Agro Productividad*, 12(8). <https://doi.org/10.32854/agrop.v0i0.1446>.
- Flores-Juárez, D. J., Villegas-Aparicio, Y., Castro-Rivera, R., Gómez-Vázquez, A., Carrillo-Rodríguez, J. C., y Castañeda Hidalgo, E. (2020). Inoculación de avena forrajera con hongos micorrízicos arbusculares. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(SPE24), 191-199. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2369>
- Flores, M. D. R. B., Aguilar, S. E., García, R C., Zamora, A. C., Farias, J. L. y López, J. G. A. (2008). Inoculación con hongos micorrízicos arbusculares y el crecimiento de plántulas de leucaena. *Terra latinoamericana*, 26(2), 127-131.
- García, E. (1988). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

- Gastélum, G., y Rocha, J. (2020). La milpa como modelo para el estudio de la biodiversidad e interacciones planta-bacteria. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 23(1), 1-13.
- Gómez, M. M., Mercado, E. C., y Pineda, E. G. (2014). *Azospirillum* una rizobacteria con uso potencial en la agricultura. *Biológicas Revista de La DES Ciencias Biológico-Agropecuarias Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, 16(1), 11-18.
- González, E. Y. M. (2019). *Evaluación de un biofertilizante (Azotobacter y Rhizobium) para tarwi y frijol caupí como alternativa ambiental a la fertilización nitrogenada*. [Tesis de magister. Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio Institucional UNMSM <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/10602>
- González, P., Plana, R., Rivera, R., Fernández, F., y Arbola, J. (2008). Efectos de la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares en pastos del género *Brachiaria*, cultivados en suelo Pardo Mullido. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 42(1), 101-106.
- Guerrero, R. C. (2003). *Inoculación de hongos micorrízicos en variedades comerciales del olivo (olea europaea, l.): efectos sobre el crecimiento, nutrición e inducción en enzimas hidrolíticas relacionadas con el establecimiento de la simbiosis y/o protección frente a enfermedades* [tesis doctoral, Universidad de Granada] Repositorio Institucional UGR <https://digibug.ugr.es/handle/10481/42198>
- Gutiérrez Arce, F. B., Rojas Vásquez, Z., Gutiérrez Arce, W. J., y Terán Piña, J. C. (2022). Condición de una pastura y su relación con el patrón de ingestión en vacas

- Holstein. *Revista De Veterinaria Y Zootecnia Amazonica*, 2(2), e394.
<https://doi.org/10.51252/revza.v2i2.394>.
- Hart, M. M. y Reader, R. J. (2002). Taxonomic basis for variation in the colonization strategy of arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 153(2), 335-344.
- Hernández, M. M., Cetina, V. M. A., González, M. C. C. y Cervantes, C. T. M. (2006). Inoculación micorrízica y su efecto en el crecimiento de dos leguminosas arbóreas. *Terra Latinoamericana*, 24(1), 65-73.
- Herón, Z. D. C. A. (2023). Biofertilización con *Rhizophagus intraradices* y *Azospirillum brasilense* en cuatro variedades de *Coffea arabica* L. en vivero. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma de Chiapas.
- Herrera, G. N. P. (2012). *Empleo de rizobacterias como promotores de crecimiento vegetal en la asociación del pasto brachiaria (brachiaria decumbens) con KUDZU (Pueraria phaseoloides y Clitoria (Clitoria ternatea)*. [Tesis de grado. Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. Repositorio Institucional UTEQ <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/2546>
- Ibarra, J. G. (2017). *Estudios microbiológicos relacionados con el mejoramiento de cultivos vegetales en zonas desfavorables*. [Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales]. Recuperado de https://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n6144_ibarra
- Ibarra-Puón, J. C., Aguirre-Medina, J. F., Coss, L. D., Cadena-Iñiguez, J., y Zavala-Mata, G. A. (2014). *Coffea canephora* (Pierre) ex Froehner inoculado con micorriza y bacteria fijadora de nitrógeno en vivero. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 20(2), 201-213.

- Ingraffia, R., Amato, G., Frenda, A. S., y Giambalvo, D. (2019). Impacts of arbuscular mycorrhizal fungi on nutrient uptake, N₂ fixation, N transfer, and growth in a wheat/faba bean intercropping system. *PloS one*, 14(3), e0213672.
- Jäderlund, L., Arthurson, V., Granhall, U. y Jansson, J. K. (2008). Specific interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting bacteria: as revealed by different combinations. *FEMS microbiology letters*, 287(2), 174-180.
- Jefwa, J. M., Sinclair, R., y Maghembe, J. A. (2006). Diversity of glomale mycorrhizal fungi in maize/sesbania intercrops and maize monocrop systems in southern Malawi. *Agroforestry Systems*, 67, 107-114.
- Kapulnik, Y., Okon, Y. y Henis, Y. (1985). Changes in root morphology of wheat caused by *Azospirillum* inoculation. *Canadian Journal of Microbiology*, 31(10), 881-887.
- Lalitha, S., Rajeshwaran, K., Kumar, P. S. y Deepa, S. (2011). Role of AM fungi and rhizobial inoculation for reclamation of phosphorus deficient soil. *Asian Journal of Plant Sciences*, 10(3), 227-232.
- Lin, W., Okon, Y. y Hardy, R. W. (1983). Enhanced mineral uptake by *Zea mays* and *Sorghum bicolor* roots inoculated with *Azospirillum brasilense*. *Applied and Environmental Microbiology*, 45(6), 1775-1779.
- López, A. G. H. (2012). *Empleo de rizobacterias como promotores de crecimiento vegetal en la asociacion del pasto festuca (Festuca arundinacea Schreb) con alfalfa (Medicago sativa) y trebol rojo (Trifolium pratense)*. [Tesis de grado. Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. Repositorio Institucional UTEQ <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/2541>
<https://digibug.ugr.es/handle/10481/42198>

- López, L., M. A. y Estañol, E. 2007. Detección de deficiencias de hierro en *Pinus leiophylla* a partir de los efectos de dilución y concentración nutrimental. *Terra Latinoamericana*. 25: 9-15.
- López, P. A. B. (2021). *Efectos de la inoculación de Azospirillum brasilense sobre la fisiología de la planta y calidad del fruto de melón (Cucumis melo L.) Variedad honey dew*. [Tesis de grado. Universidad El Bosque]. Repositorio Institucional UEB <https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/7692>
- Loredo, O. C., López, R. L. y Espinosa, V. D. (2004). Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas: una revisión. Plant Growth-Promoting Bacteria in Association with Graminaceous Species: A Review. *TERRA Latinoamericana*, 22(2), 225-239.
- Low, S. G. (2015). Signal grass (*Brachiaria decumbens*) toxicity in grazing ruminants. *Agriculture*, 5(4), 971-990. <https://doi.org/10.3390/agriculture5040971>.
- Lozano-Contreras, M. G., Rivas-Pantoja, F., y Castillo-Huchim, J. E. (2013). Crecimiento de plántulas de *Brachiaria brizantha* en respuesta a la aplicación de hongos micorrizógenos y bacterias diazotróficas. *Pastos y Forrajes*, 36(2), 227-232.
- Luna-Fletes, J.A., Cruz-Crespo, E., Can-Chulim, Á., Chan-Cupul, W., Luna-Esquivel, G., García-Paredes, J.D., Aguilar-Benítez, G., Palemón-Alberto, F., y Mancilla-Villa, Ó.R. (2023). Biofertilizantes y sustratos orgánico-minerales en el cultivo de chile habanero. *Revista Fitotecnia Mexicana*. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.2.137>
- Marschner, H. y B. Dell. (1994). Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil*. 159: 89-102.

- Mahecha Ledesma, L., Rosales Lenis, M., Molina, E., Duran, C. V., y Molina Duran, C. H. (2000). *Consumo de pasto estrella africana (Cynodon plectostachyus) y leucaena (Leucaena leucocephala) en un sistema silvopastoril*.
- Martín, N. R. (2011). *Cambios en la morfología radicular e interacciones planta-microorganismos del suelo en respuesta a la domesticación* [tesis doctoral, Universidad Rey Juan Carlos]. Repositorio Institucional IPN. <https://burjcdigital.urjc.es/handle/10115/15871>
- Martin, T. N., Waclawovsky, A. J., Kuss, F., y Brun, E. J. (2010). Sistemas de producción agropecuaria. UTFPR.
- Medina, J. F. A., Briones, F. O. M., Íñiguez, J. C. y Hernández, M. S. (2018). Efectividad de biofertilizantes y brasinoesteroide en *Stevia rebaudiana* Bert. *Agrociencia*, 52(4), 609-621.
- Medina, J. F. A., Hidalgo-Bartolón, E. Y., Martínez-Tinajero, J. J., y Velazco-Zebadúa, M. E. (2019). Influencia de Rhizophagus intraradices en el crecimiento de Brachiaria decumbens Stapf en interacción con dosis de fertilización. *Agro Productividad*, 12(4). <https://doi.org/10.32854/agrop.v0i0.1391>.
- Medina, J. F. A. y Shibata, J. K. (2002). Dinámica de la colonización micorrízica y su efecto sobre los componentes del rendimiento y contenido de fósforo en frijol común. *Agricultura Técnica en México*, 28(1), 23-33.
- Medina, J. F. A. y Shibata, J. K. (2002). Dinámica de la colonización micorrízica y su efecto sobre los componentes del rendimiento y contenido de fósforo en frijol común. *Agricultura Técnica en México*, 28(1), 23-33.
- Mena Urbina, M. A. (2015). Pastos y forrajes. <https://hdl.handle.net/10568/70087>.

- Mina, F. O. B. (2013). *Crecimiento de Cedrela odorata L. con diferentes microorganismos inoculados a la semilla en vivero*. [Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Chiapas]. Repositorio institucional.
- Milthorpe, F. L., Moorby, J. y González Idiarte, H. (1982). *Introducción a la fisiología de los cultivos* (No. 633 M5I5).
- Moor, M., Öpik, M., Sen, R. y Zobel, M. (2004). Native arbuscular mycorrhizal fungal communities differentially influence the seedling performance of rare and common *Pulsatilla* species. *Functional ecology*, 18(4), 554-562.
- Moreno, J., Barraza, B. A., Osorno, L. B., Osorio, N. W. V., y Medina, A. B. (2023). Efecto de la inoculación con microorganismos promotores del crecimiento vegetal en suelos degradados de minería aluvial. *Acta Agronómica*. <https://doi.org/10.15446/acag.v71n2.92382>
- Moroyoqui, D. M. O. (2005). *Desarrollo Vegetal del Café (Coffea Arabica L.) Var. Oro Azteca con Diferentes Sustratos y Azospirillum brasilense Tarrand, Krieg et Döbereiner y Glomus intraradices Shenk et Smith en Vivero*. [Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Chiapas]. Repositorio institucional.
- Muniandy, K. V., Chung, E. L. T., Jaapar, M. S., Hamdan, M. H. M., Salleh, A., y Jesse, F. F. A. (2020). Filling the gap of *Brachiaria decumbens* (signal grass) research on clinico-pathology and haemato-biochemistry in small ruminants: A review. *Toxicon*, 174, 26-31. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2019.12.158>
- NCBI Taxonomy (2020) *Rhizophagus intraradices*. Database Oxford. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi>

- Ness, R. L. L. y Vlek, P. L. (2000). Mechanism of calcium and phosphate release from hydroxy-apatite by mycorrhizal hyphae. *Soil Science Society of America Journal*, 64(3), 949-955.
- Okon, Y. y Kapulnik, Y. (1986). Development and function of Azospirillum-inoculated roots. *Plant and soil*, 90, 3-16.
- Olanrewaju, O. S., Ayangbenro, A. S., Glick, B. R. y Babalola, O. O. (2019). Plant health: feedback effect of root exudates-rhizobiome interactions. *Applied microbiology and biotechnology*, 103, 1155-1166.
- Ordóñez, Y. M. C., Ceballos, I. C. R., Rodriguez, A. V., y Sanders, I. (2021). Efecto de la inoculación *Rhizophagus irregularis* y de la fertilización fosfatada sobre la comunidad local de hongos formadores de micorrizas arbusculares. *Bioteconología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, 19(2), 184–200. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v19.n2.2021.1850>
- Ortiz, A. A. (2015). *Respuesta del pasto kikuyo a la inoculación: con hongos micorrícicos y a diferentes niveles de nitrógeno y fósforo*. [Tesis de Maestría. Universidad de Antioquia]. Repositorio Institucional UdeA. <https://hdl.handle.net/10495/3528>
- Pereira, G., Sánchez, M., Ríos, D. y Herrera, M. A. (2001). Micorrizas vesículo arbusculares y su incidencia en el crecimiento de plántulas de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. *Bosque*, 22(2), 39-44.
- Perreta, M. G. y Vegetti, A. C. (2005). Patrones estructurales en las plantas vasculares: una revisión. *Gayana. Botánica*, 62(1), 9-19.

- Phillips, J. M. y D. S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *The British Mycology Society* 55(1): 58-161
- Portugal, E. P., Quitério, G. M. y Honório, S. L. (2006). Seleção de fungos micorrízicos arbusculares para estévia, *Stevia Rebaudiana* (Bert.) Bertoni. *Multiciência*, 7, 1-20.
- POWO. (2024). *Triticum aestivum* L. Plants of the World Online. <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:332110-2>
- Ray, J. V., Benites, D. G., López, R. G., y Senra, A. (2014). Estrategias de manejo de pastoreo racional para la producción de leche a partir de pastos tropicales. *Revista de Producción Animal*, 26(2), NA-NA.
- Rincón Castillo, Á. (2011). Efecto del potasio sobre la producción y calidad de forraje de *Brachiaria decumbens* Stapf en el piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia. *Acta Agronómica*, 60(3).
- Rodríguez, I., Padilla, C., y Ojeda, M. (2019). Características de la germinación de la semilla gámica de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray y su comportamiento en condiciones de vivero. *Development*, 31, (5).
- Rodríguez-Sahagún, A., Velasco-Jiménez, A., Castellanos-Hernández, O.A., Acevedo-Hernández, G., y Clarenc Aarland, R. (2020). *Bacterias rizosféricas con beneficios potenciales en la agricultura*. <https://acortar.link/qxaxQZ>
- Roncallo, B., Sierra, A. M., y Castro, E. (2012). Rendimiento de forraje de gramíneas de corte y efecto sobre calidad composicional y producción de leche en el Caribe seco. *Ciencia y tecnología agropecuaria*, 13(1), 71-78.

- Ruiz, D. S. N. (2013). *Crecimiento vegetal de Roseodendron donnell – smithii (Rose) Miranda, asociada con Azospirillum brasilenses, Rhizophagus intraradices y Pseudomonas fluorescens con diferentes mezclas de sustratos en vivero*. [Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Chiapas]. Repositorio institucional.
- Sánchez, J. (2007). *Utilización eficiente de las pasturas tropicales en la alimentación del ganado lechero*. XI Seminario de Pastos y Forrajes en sistemas de producción animal. Barquisimeto, Venezuela, 1-24.
- Santos, M. C., Segura, M. A, y Ñúste, C. E. L. (2010). Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 63(1), 5253-5266.
- Santoyo de la Cruz, M. F., Gardezi, A. K., Carrillo Castañeda, G., Ortega Escobar, H. M., Mancilla Villa, O. R., Rubiños Panta, J. E., López Buenfil, J. A., Larque Saavedra, M. U., Haro Aguilar, G., y Ali Gamboa, C. A. (2023). Efecto de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (*Medicago sativa* L.) en dos tipos de suelo, cobre y composta. *Acta Universitaria*, 33, 1–14. <https://doi.org/10.15174/au.2023.3569>
- Smith, S. E., Smith, F. A. y Jakobsen, I. (2003). Mycorrhizal fungi can dominate phosphate supply to plants irrespective of growth responses. *Plant physiology*, 133(1), 16-20.
- Soretire, A. A., Adeyemi, N. O., Atayese, M. O., Sakariyawo, O. S., y Adewunmi, A. (2020). Nodulation and biological nitrogen fixation in soybean (L.) as influenced by phosphorus fertilization and arbuscular mycorrhizal inoculation. *Acta Universitatis Sapientiae, Agriculture and Environment*, 12(1), 22-44.

- Trópicos Missouri Botanical Garden. (2024). *Brachiaria decumbens Stapf*. Trópicos.org
<<https://tropicos.org/name/25510766>>
- Tyagi, J., Shrivastava, N., Sharma, A. K., Varma, A., y Pudake, R. (2021). Effect of Rhizophagus intraradices on growth and physiological performance of Finger Millet (*Eleusine coracana* L.) under drought stress. *Plant Science Today*, 8(4), 912-923.
<https://doi.org/10.14719/pst.2021.8.4.1240>
- Uribe, N. A. (2019). *Efecto de la coinoculación de bradyrhizobium sp. y endomicorrizas en el desarrollo inicial de pseudosamanea guachapele (kunth) harms en fase de vivero en barbosa antioquia*. [Proyecto de investigación, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD]. Repositorio Institucional UNAD.
<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/27582>
- USDA NRCS. (2024). *Zea mays* L. National Plant Data.
<https://plants.usda.gov/home/plantProfile?symbol=ZEMA>
- Vallejos G. T., Sánchez, T., García, M.A., Trigoso, M., y Arévalo, L.A. (2019). Efecto de hongos formadores de micorrizas arbusculares en clones de *Coffea arabica*, variedad caturra en Perú. *Acta Agronómica*.
<https://doi.org/10.15446/acag.v68n4.72117>.
- Velasco-Jiménez, A., Castellanos-Hernández, O., Acevedo-Hernández, G., Aarland, R. C., y Rodríguez-Sahagún, A. (2020). Bacterias rizosféricas con beneficios potenciales en la agricultura. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 333-345.
- Velasco, J. V., Cerrato, R. F. y Suárez, J. A. (2001). Vermicomposta, micorriza arbuscular y *Azospirillum brasilense* en tomate de cáscara. *Terra latinoamericana*, 19(3), 241-248.

- Villar Montero, R., Ruiz Robleto, J., Quero Pérez, J. L., Poorter, H., Valladares Ros, F. y Marañón, T. (2008). Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas.
- Vosátka, M. y Albrechtová, J. (2009). Benefits of arbuscular mycorrhizal fungi to sustainable crop production. *Microbial strategies for crop improvement*, 205-225.
- Wilches-Ortiz, W. A., Ramírez-Gómez, M. M., Reyes-Méndez, L. M., Pérez-Moncada, U. A., Serralde-Ordoñez, D. P., y Peñaranda-Rolón, A. M. (2022). Uso de Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares en dos variedades de caña para panela en Suaita-Santander, Colombia. *Siembra*, 9(1), e3802. <https://doi.org/10.29166/siembra.v9i1.3802>
- Wright, D. P., Scholes, J. D., Read, D. J. y Rolfe, S. A. (2005). European and African maize cultivars differ in their physiological and molecular responses to mycorrhizal infection. *New phytologist*, 167(3), 881-896.
- Zeffa, D. M., Perini, L. J., Silva, M. B., de Sousa, N. V., Scapim, C. A., de Oliveira, A. L. M. D., do Amaral, A. T. J. y Azeredo Gonçalves, L. S. (2019). *Azospirillum brasilense* promotes increases in growth and nitrogen use efficiency of maize genotypes. *Plos one*, 14(4), e0215332.